

Способ автономного проведения ресурсных испытаний свечей зажигания газотурбинных двигателей

**Описание проблемы:** Уменьшение затрат на логистику перспективных коммерческих газотурбинных двигателей (далее - ГТД) типа ПД-14, ПД-8 требует обеспечения их высокоресурсными системами зажигания. Ресурсы свечей зажигания определяются электроэрозионной выработкой электродов и керамического изолятора с нанесенным полупроводниковым покрытием в искровом зазоре и разрушением материала свечи зажигания от воздействия высокотемпературных газовых потоков в камере сгорания.

Наиболее значимое влияние на ресурс свечи оказывает электроэрозионная выработка. Электроэрозионная выработка электродов и керамического изолятора (полупроводникового покрытия) в искровом зазоре зависит от сочетания целого ряда факторов: энергии разряда, выделяемой в искровом зазоре, частоты следования искровых разрядов, температуры в зоне искрового зазора свечи, давления топливовоздушной смеси до и во время работы системы зажигания, количества жидкой фазы топлива, поступающего в искровой зазор свечи зажигания. Определение допустимой электроэрозионной выработки электродов свечи, определяющей пробивное напряжение свечи зажигания, требует проведения длительных испытаний в составе двигателя.

Высокие требования к ресурсным показателям коммерческих ГТД согласно нормативной документации требуют проведения испытаний не менее двух комплектов свечей в составе двигателей с обеспечением соответствующего запаса по запускам/включениям системы зажигания. С учетом ограниченного объема ресурсных испытаний двигателя и времени, отведенного на них, эти испытания создают значительные риски по возможности положительного завершения в случае необходимости итерации нескольких вариантов конструктивного исполнения свечей в процессе ресурсной отработки, как на этапе разработки системы зажигания, так и при проведении работ по повышению ресурсных характеристик двигателей на этапе их серийного производства и эксплуатации.

**Поставленная задача:** разработка методов автономных эквивалентных ресурсных испытаний свечи зажигания, исключаяющих их длительную ресурсную отработку в составе двигателя.

Для решения поставленной задачи был разработан метод автономных испытаний свечей зажигания по обеспечению ее ресурсной наработки при одновременном воздействии на свечу зажигания внешних воздействующих факторов, имеющих место на газотурбинном двигателе. Экспериментальная модель установки, на которой проводилась ее отработка, показана на рисунке 1.

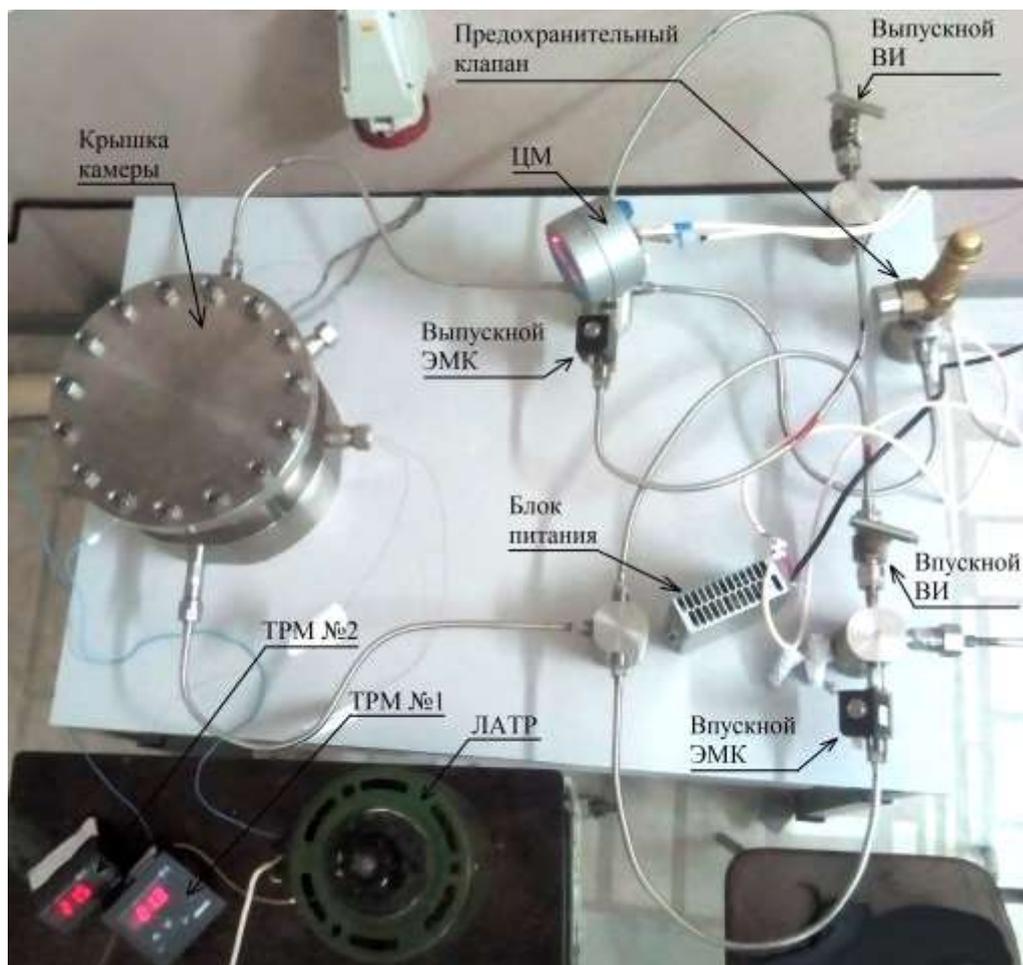


Рисунок 1 - Экспериментальная модель установки для отработки способа проведения испытаний

Возможности разработанной установки:

- обеспечения возможности установки требуемого значения давления (до 50 кгс/см<sup>2</sup>) внутри камеры, изменения давления по заданному циклу и периодического обновления воздуха в камере;
- обеспечения установки температуры (до 1000 °С) в зоне рабочего торца свечи по заданному циклу;
- контроль давления, температуры и наличия искрообразования непосредственно в зоне рабочего торца свечи;
- удаленное автоматизированное управление ходом проведения испытаний при помощи персонального компьютера.

В процессе аттестации установки было подтверждено соответствия условий нагрева свечей зажигания на установке условиям нагрева в составе ГТД (в части соблюдения баланса подвода тепла к свече от среды в зоне рабочего торца и отвода тепла через корпус свечи на корпус двигателя или воздушной камеры).

Для подтверждения эквивалентности метода проведения испытания были проведены сравнительные ресурсные испытания свечей зажигания в составе ГТД и в составе разрабатываемой установки для проведения испытаний. Режим проведения включений по длительности, давлению и температуре в зоне рабочего торца свечи соответствовали проведенным до этого ресурсным испытаниям ГТД, в том числе в режиме «дежурного» зажигания.

Примечание – В режиме «дежурного» зажигания осуществляется постоянная работа системы зажигания в составе работающего ГТД для обеспечения поддержания горения топливоздушная смеси при полете в неблагоприятных погодных условиях.

На рисунке 2 показан результат рентгенографирования свечи зажигания после испытаний в составе двигателя, а на рисунке 3 показан результат рентгенографирования свечи зажигания перед началом, в середине и после окончания испытаний. На снимке хорошо виден процесс износа свечи зажигания (выработка центрального электрода, бокового электрода и керамического изолятора) по мере наработки свечи за счет электроэрозии при искрообразовании.

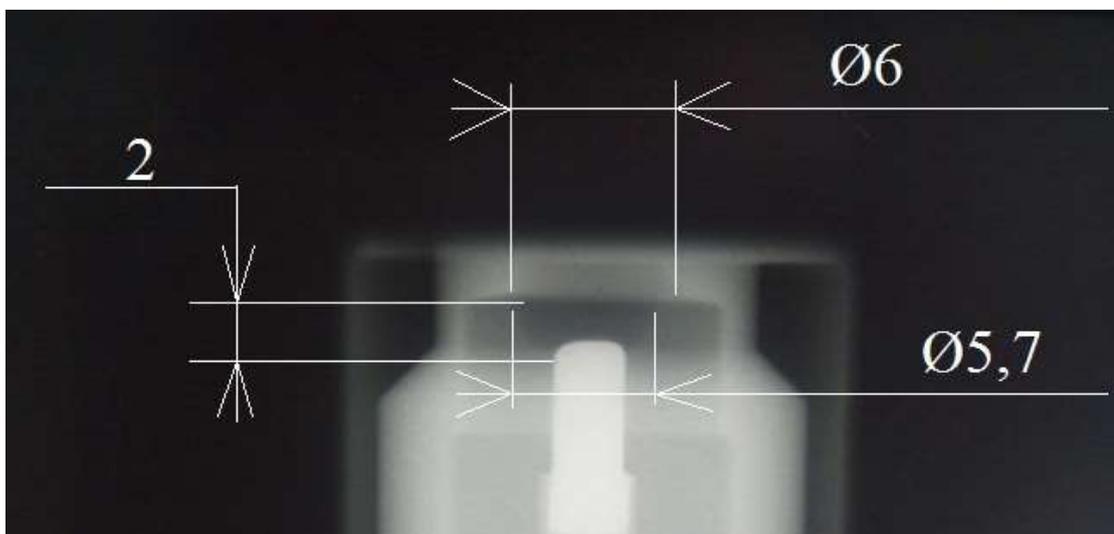


Рисунок 2 – Рентгеноснимок рабочего торца свечи после испытаний в составе двигателя

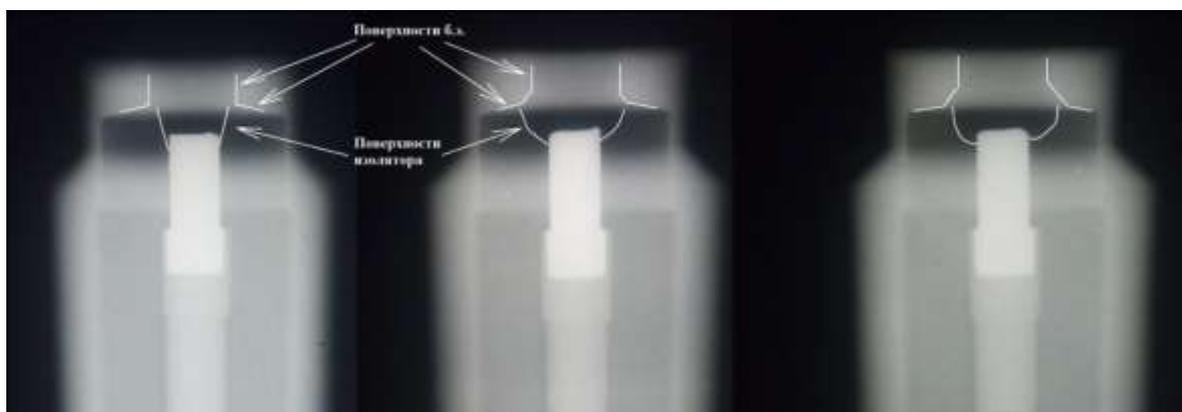


Рисунок 3 – Рентгеноснимок рабочего торца свечи, проходящей автономные испытания: а) перед началом испытаний; б) в середине испытаний; в) после окончания испытаний

Для оценки эквивалентности проведенных ресурсных испытаний в составе ГТД и при помощи разрабатываемой установки для проведения испытаний была выполнена разрезка свечей, после чего выполнен микрообмер центрального и бокового электродов, а также керамического изолятора. Результаты микрообмера приведены на рисунках 4, 5.

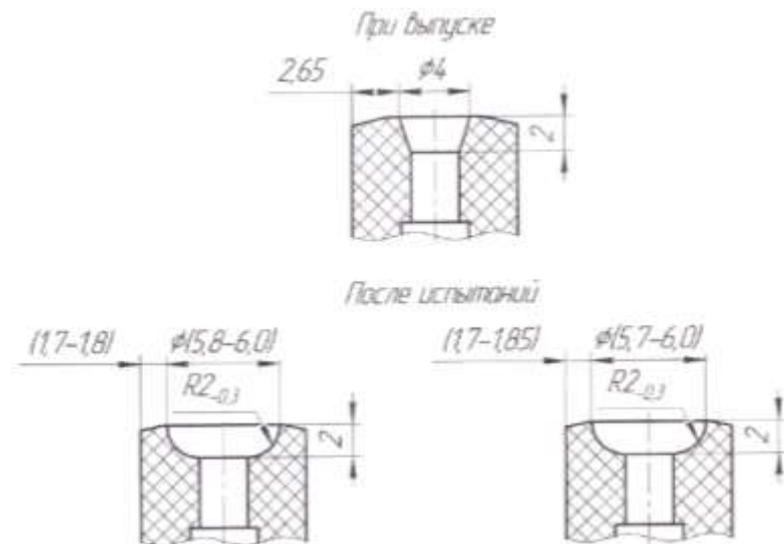


Рисунок 4 – Размеры керамического изолятора свечей до испытаний (сверху) и после (снизу) ресурсных испытаний (слева в составе ГТД, справа автономные)

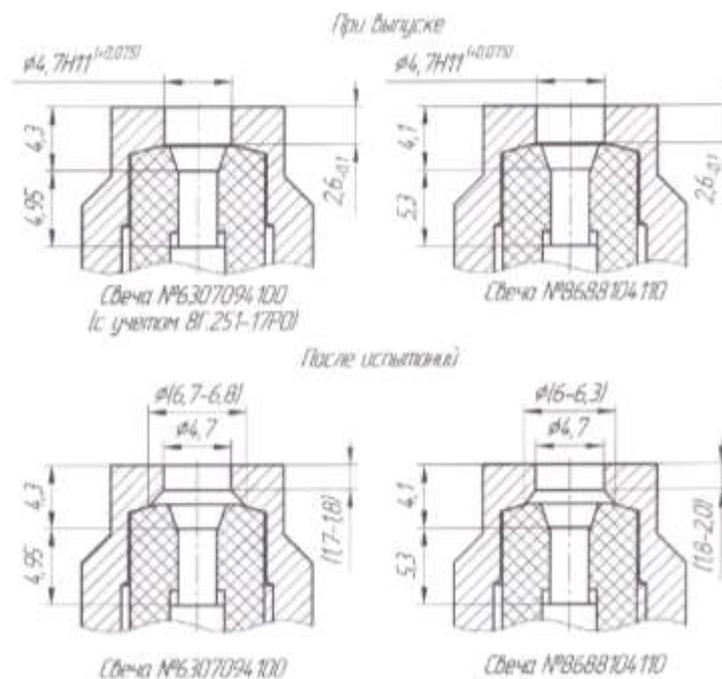


Рисунок 5 – Размеры центрального и бокового электродов свечей до испытаний (сверху) и после (снизу) ресурсных испытаний (слева в составе ГТД, справа автономные)

Результаты микрообмера показывают, что электроэрозионная выработка керамического изолятора, центрального и бокового электродов свечи, прошедшей автономные ресурсные испытания в разрабатываемой установке, и свечи, прошедшей ресурсные испытания в составе ГТД, практически не отличаются.

Таким образом, в процессе экспериментальных работ было установлено:

- 1) в автономных условиях с высокой достоверностью возможно воссоздать условия работы свечей зажигания в составе ГТД;
- 2) отработана методика проведения автономных ресурсных испытаний свечей зажигания, максимально близко воссоздающих условия работы в составе ГТД.

На разработанный способ проведения ресурсных испытаний свечей зажигания ГТД были получены охранные документы: патент №2766478 «СПОСОБ ИСПЫТАНИЯ И ПРОВЕРКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ» и № 2766315 «УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ И ПРОВЕРКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ».



В настоящее время проводится разработка рабочей конструкторской документации на стенд для одновременного проведения ресурсных испытаний не менее 4-х свечей зажигания, проводятся работы по разработке отраслевой методики проведения ресурсных испытаний свечей зажигания. Это позволит:

- значимо снизить затраты на проведение ресурсных испытаний ГТД в процессе ОКР;
- проводить работы по повышению ресурсов серийных свечей зажигания без проведения длительных испытаний ГТД;
- снизить риски в процессе ОКР по разработке свечей зажигания обеспечения свечами требуемых ресурсов.