

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПЕПЛА НА АВИАЦИОННЫЕ ГАЗОТУРБИННЫЕ ДВИГАТЕЛИ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ ГЕНЕРАЦИИ ЖИДКОЙ ФАЗЫ НА КРЕЙСЕРСКОМ РЕЖИМЕ

Попова Д.Д.^{1,2}

¹АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, popova-dd@avid.ru

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь

Ключевые слова: вулканический пепел, авиационный газотурбинный двигатель, камера сгорания, турбина.

В настоящем докладе представлены механизмы и примеры воздействия вулканического пепла на авиационные газотурбинные двигатели. Представлены результаты инженерных испытаний ведущих мировых корпораций: NASA, Calspan и АО «ОДК-Авиадвигатель» по оценке воздействия вулканического пепла на двигатели PW2040, PW F100 и перспективного двигателя разработки АО «ОДК-Авиадвигатель». Представлено моделирование генерации жидкой фазы вулканического пепла на крейсерском режиме камеры сгорания современного перспективного российского двигателя, обоснован выбор температуры генерации.

Вулканический пепел является чрезвычайно абразивным материалом. Вулканический пепел может нанести урон поверхностям самолета, турбореактивным двигателям и другим системам летательного аппарата и даже вывести эти системы из строя [1, 2, 3, 4].

Основными проявлениями воздействия вулканического пепла на элементы ГТД являются эрозионно-абразивные повреждения элементов ГТД, засорение топливных форсунок, аккумуляция отложений пеплового материала на элементах камеры сгорания и лопатках турбины и т.д. [1, 4].

Отложения пеплового материала на поверхностях лопаток турбины высокого давления уменьшают площадь проходного сечения в межлопаточных каналах (рисунок 1). Особо опасным в данном случае будет появление отложений в межлопаточных каналах соплового аппарата первой ступени, так как достижение в нём критической скорости течения при меньших проходных сечениях приводит к дросселированию расхода воздуха через двигатель, и, как следствие, снижению запаса устойчивой работы компрессора, непрерывающимся помпажам и потере тяги двигателя [3, 4, 5]. На рисунке 1б показано состояние первой ступени турбины высокого давления RB211-524D4, повлекшее выключение всех четырех двигателей этого типа самолета Boeing 747, после попадания в облако вулканического пепла вулкана Галунггунг [2].

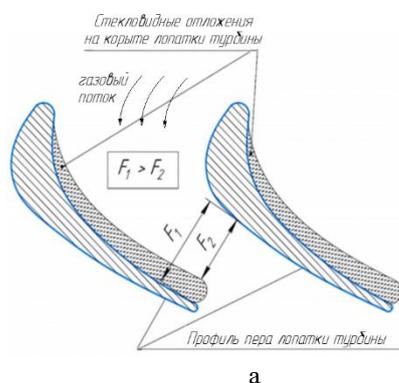


Рисунок 1 - а) изменение площади проходного сечения при аккумуляции отложений на поверхностях лопаток турбины; б) двигатель RB211-524D4, вулкан Галунггунг, Индонезия, 1982 г.

При испытаниях ПД-14 были выявлены отложения вулканического пепла подобного происхождения. Однако, попадание пепла в двигатель ПД-14 с максимально допустимой

в Европе концентрацией 4 мг/м³ в течение одного часа не приводит к изменению тяговых характеристик ПД-14 и возникновению нежелательных последствий [6].

Основной причиной агрегатных преобразований в авиационном газотурбинном двигателе является нагрев вулканического пепла и дальнейшая генерация жидкой фазы пеплового материала в камере сгорания. На рисунке 2 представлена расчетная область генерации жидкой фазы вулканического пепла вулкана Шивелуч в газоздушном тракте перспективного двигателя разработки АО «ОДК-Авиадвигатель». На основании существующих исследований [4] и анализа проб вулканического пепла вулкана Шивелуч после нагревов выбрана температура плавления (ликвидус) 1400 °С.

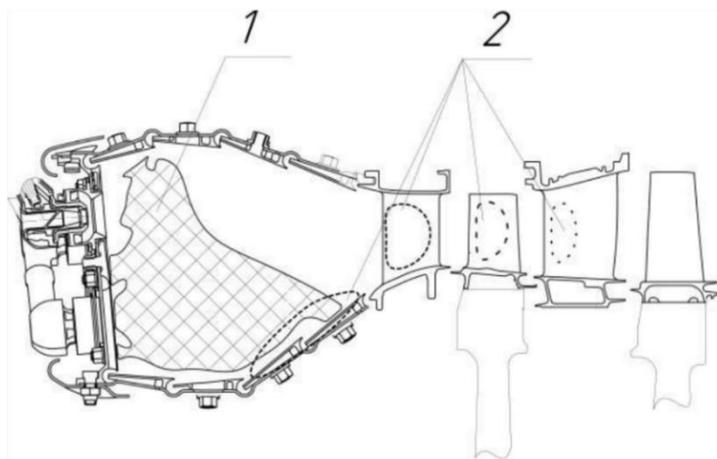


Рисунок 2 - Фазовые преобразования вулканического пепла по тракту двигателя:
1 – расчетная зона генерации жидкой фазы пепла; 2 – фактическая зона стекловидных отложений

По результатам поисковых работ сформирована основная задача научных диссертационных исследований – выявление зависимости объема зоны генерации жидкой фазы от режима работы двигателя и создание математической модели аккумуляции отложений пеплового материала на элементах «горячей части» двигателя. Данные разработки требуют всестороннего рассмотрения всех факторов с точки зрения геохимии, физики процессов и авиадвигателестроения и являются направлением для актуальных дальнейших исследований в данной области.

Список используемой литературы

1. Руководство по облакам вулканического пепла, радиоактивных материалов и токсических химических веществ // International Civil Aviation Organization. – Издание 3-е, 2015. – 210 с.
2. Clarkson R. Volcanic Ash Impacts on Jet Engines and Developments since 2010. – Rolls-Royce (Aero Engines), 29th. – January 2019. – 23 p.
3. Попова Д.Д., Саженов А.Н. Воздействие вулканического пепла на авиационные газотурбинные двигатели // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. – 2022. – №70. – С. 122-139.
4. Иноземцев А.А., Попова Д.Д. Исследование устойчивости авиационного двигателя ПД-14 к воздействию вулканического пепла / Иноземцев А.А. и др. // Вестник УГАТУ. – 2022. – Том 26. – №2 (96).
5. Davison C.R., Rutke T. Assessment and Characterisation of Volcanic Ash Threat to Gas Turbine Engine Performance// National Research Council Canada, Ottawa, Canada, August, 2014.
6. Павлецов И.С., Галлямов М.Д. Газогенератор двигателя ПД-14 успешно прошел испытания вулканическим пеплом / Павлецов И.С. и др.// Информационно-технический бюллетень Пермские авиационные двигатели. – 2021. – №48. – С. 30-33.

Сведения об авторе

Попова Д.Д., инженер-конструктор-расчетчик. Область научных интересов: комплексное воздействие вулканического пепла на авиационные газотурбинные двигатели.

THE VOLCANIC ASH IMPACT SIMULATION ON AIRCRAFT GAS TURBINE ENGINES: DETERMINATION OF THE LIQUID PHASE GENERATION ZONE IN CRUISE MODE

D.D. Popova^{1,2}

¹JSC «UEC-Aviadvigatel», Perm, Russia, popova-dd@avid.ru,

²Perm National Research Polytechnic University Perm, Russia

Keywords: volcanic ash, aircraft gas turbine engine, combustion chamber, turbine.

This report presents mechanisms and examples of the effects of volcanic ash on aircraft gas turbine engines. The results of engineering tests of the world's leading corporations are presented: NASA, Calspan and UEC-Aviadvigatel JSC to assess the impact of volcanic ash on the PW2040, PW F100 and Russian engines. The simulation of the generation of the liquid phase of volcanic ash in the cruising mode of the Russian engine combustion chamber is presented, and the choice of the generation temperature is substantiated.