

## ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ТУРБИНЫ ПО КОНЦЕПЦИИ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ ТРЕЩИН

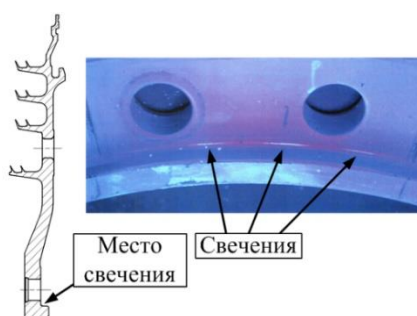
Селищев П.А.<sup>1</sup>, Зеленкевич А.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара, [gfvjkbyf@gmail.com](mailto:gfvjkbyf@gmail.com)

*Ключевые слова:* трещина, закон Пэриса, линейная механика разрушения, дефлектор.

При установлении ресурсных показателей основных деталей двигателя в соответствии с требованиями нормативной документации необходимо проведение расчётов по концепции безопасного развития дефектов (КБРД).

Предметом исследования является передний дефлектор первой ступени турбины высокого давления (ТВД) газотурбинного двигателя (ГТД) с наработкой, на котором были обнаружены трещины усталостного характера. Место обнаружения дефектов при ЛЮМ1-ОВ контроле указано на рис. 1.



*Рисунок 1 – Штриховые свечения, выявленные при ЛЮМ1-ОВ контроле переднего дефлектора на поверхности перехода центрирующего пояска к фланцу*

Целью исследования является формирование рекомендаций, позволяющих на расчётном уровне получать результаты, наиболее приближенные к экспериментальным данным. Отмечены важные особенности исследования дефлектора в зоне обнаружения трещин – в радиусе перехода центрирующего пояска к фланцу:

- в зоне исследования наблюдается сложное объёмное напряжённое состояние с большими пластическими деформациями;
- характер действующей нагрузки – циклическое нагружение;
- так как трещина, как установлено в ходе микрофрактографических исследований [1], имеет полуэллиптическую форму, необходимо определить взаимосвязь длины  $l$  и глубины  $a$  трещины для её моделирования, наиболее приближенного к действительности;
- по результатам верификации расчётных моделей дефлектора с трещинами необходимо выбрать такие значения свойств трещиностойкости  $S$  и  $m$ , полученные при испытаниях компактных образцов на СРТУ, при использовании которых расхождения между расчётными и экспериментальными данными будут минимальными;
- в качестве мест моделирования трещины отрыва выбраны две зоны на поверхности перехода центрирующего пояска к фланцу с минимальной циклической долговечностью до образования трещины МЦУ.

Экспериментальные данные представляют собой зависимости шага между микробороздками  $\Delta a$  от глубины трещин  $a$ , которые были получены по микрофрактограммам изломов четырёх трещин [1]. При формировании зависимостей  $l = f(a)$  с использованием эмпирических данных для моделирования трещин использовано два подхода: формирование на основе размеров трещины на всех этапах её развития и только на начальном этапе. Второй вариант позволяет исключить из рассмотрения объединение отдельных очагов трещин по мере их роста.

Для проведения верификации принято решение на основе эмпирических зависимостей  $\Delta a = f(a)$  сформировать зависимости вида  $K_1 = f(a)$ . Это предоставляет возможность

проведения оценки расхождений НДС вблизи вершины реально исследованной по микрофрактографии и смоделированной трещин. На рис. 2 представлена зависимость  $K_1 = f(a)$ , определённая на основе эмпирических и расчётных данных. Приведён вариант с использованием таких значений параметров СРТ  $C$  и  $m$ , при которых расхождения между расчётными и экспериментальными данными минимальны.

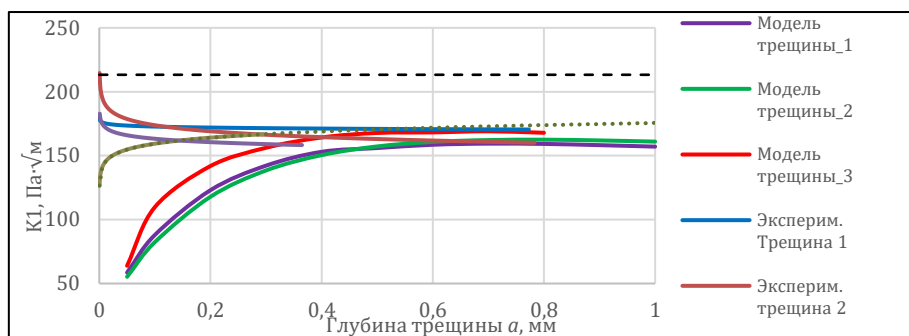


Рисунок 2 – Зависимость КИН от глубины трещины  $a$

Верификация результатов расчётных исследований смоделированных трещин, отличающихся местом расположения в дефлекторе, используемой зависимостью  $l = f(a)$ , полученными разными методами и на разных образцах вариантами параметров СРТ  $C$  и  $m$ , проведена сравнением с данными, полученными при фрактографических исследованиях всех четырёх реально развивавшихся в эксплуатации трещин [1].

Для дальнейших расчётов ресурсных показателей дефлектора по КБРП выбрана расчётная модель, имеющая минимальные расхождения с результатами микрофрактографических исследований. Достижение минимальных расхождений оказалось возможным (как показано на рис. 2) только при варьировании одновременно всеми перечисленными параметрами модели.

### Список литературы

1. Технический отчёт №001.15197 «Анализ результатов исследований дефекта переднего дефлектора ТВД изделия Р 133», ПАО «Кузнецов». Самара, 2017. 54 с.
2. Методика «Определение долговечности, периодичности инспекций и назначенного ресурса основных деталей ГТД по концепции безопасного развития дефекта», ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова». Москва, 2015. 74 с.
3. Методика «Подтверждение ресурса с учётом наличия дефекта», ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова». Москва, 2011. 52 с.

### Сведения об авторах

Селищев Павел Александрович, инженер-конструктор отдела прочности, аспирант Самарского университета. Область научных интересов: механика разрушения, механика остаточных напряжений.

Зеленкевич Александр Дмитриевич, инженер-конструктор, аспирант Самарского университета. Область научных интересов: авиационное двигателестроение.

## VERIFICATION OF TURBINE PARTS COMPUTATIONAL STUDY RESULTS ACCORDING TO SAFE CRACK PROPAGATION CONCEPT

Selischev P.A.<sup>1</sup>, Zelenkevich A.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>PJSC «UEC-Kuznetsov», Samara, Russia, [gfvjkybyf@gmail.com](mailto:gfvjkybyf@gmail.com)

*Keywords: crack, Paris law, linear fracture mechanics, deflector.*

The object of the study is the front deflector of the first stage of the high-pressure turbine (HPT) of a gas turbine engine (GTE) with high-time, on which fatigue cracks were found. To verify computational models with an initial defect such as a crack, it's necessary to take into account several factors simultaneously.