

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗАМЕРА ТЕМПЕРАТУРЫ РАБОЧЕЙ ЛОПАТКИ

Савельев Е.Ю., Ефремов Д.В., Майорова Е.С., Новосадов Д.А., Горбатюк Е.К.  
ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара

*Ключевые слова:* погружной пиromетр, температурное состояние, рабочая лопатка, термопары

В настоящее время турбины работают при температурах, которые близки или превышают температуру плавления жаропрочных сплавов на никелевой основе. Несмотря на то, что использование термозащитных покрытий улучшило температурное состояние деталей, необходимо крайне точно измерять температуру поверхности лопаток, так как они испытывают неравномерный нагрев на нестационарных режимах работы двигателя, а также высокий нагрев отдельных элементов на максимальном режиме работы.

Для измерения теплового состояния рабочих лопаток на предприятии ПАО «ОДК- Кузнецов» принято использовать термопары [1].

Хоть у этого способа замера температуры рабочих лопаток есть неоспоримые преимущества (широкий диапазон применения, малые габариты, высокая надежность), так же имеются весомые недостатки (нарушение естественных условий теплообмена, дискретная картина тепловых полей, большой объем работы по выполнению препарирования, доработка деталей и сборочных единиц ротора).

Альтернативным способом замера температуры рабочей лопатки является использование пиromетра. Пиromетры определяют характеристики электромагнитного излучения и на их основании автоматически вычисляют, до какой температуры нагрет объект измерения [2].

Главным преимуществом такого замера температуры рабочей лопатки турбины является: отсутствие доработок ротора турбины (вырез пазов под прокладку термопар), что позволяет сэкономить время препарирования турбины, а также позволяет уйти от невозможности постановки препарированных термопарами рабочих лопаток на следующие испытания (отстранение дорогостоящей материальной части).

Из выше сказанного на предприятии разработана конструкция погружного пиromетра, который позволяет произвести замеры температуры поверхности рабочей лопатки (рис. 1).

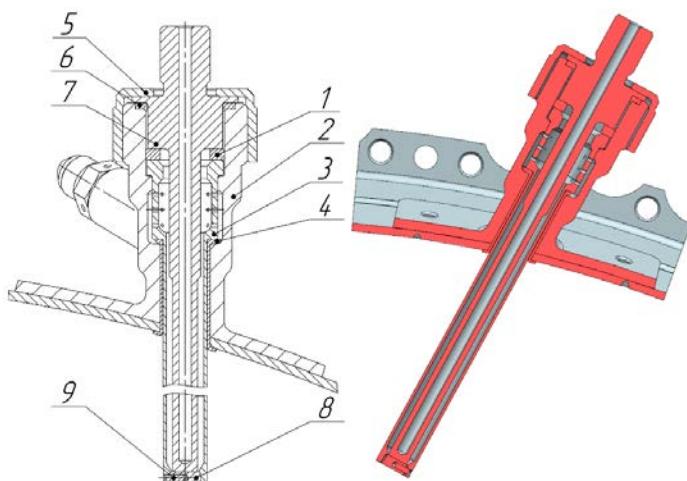


Рис. 1 – Эскиз и твердотельная модель погружного пиromетра:  
1 – гайка стопорная; 2 – фланец; 3 – экран; 4 – футерка; 5 – гайка;  
6 – прокладка; 7 – объектив; 8 – донышко; 9 – штифт

При разработке погружного пиromетра необходимо определиться в каких зонах рабочей лопатки необходимо производить замер температуры (рис. 2). После этого

определяется угловое положение линзы вокруг оси пирометра. Выставив пирометр в нужном положении, можно производить испытания (замер температуры поверхности рабочих лопаток).

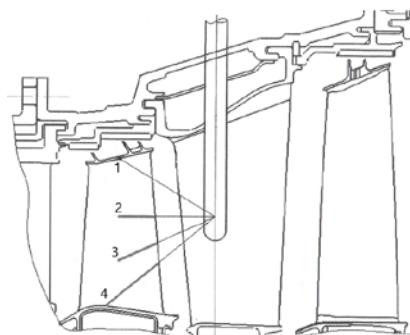


Рис. 2 – Схема замера температуры пирометром:  
1; 2; 3; 4 – линии визирования (места замеров)

Определить положение пирометра является достаточно сложной задачей, но благодаря системам автоматизированного проектирования (САПР) эта задача становится не такой сложной. Определив радиальное положение линзы (расположение пирометра по высоте), определяется ее угловое положение. Необходимо понимать, что поворот пирометра вокруг своей оси позволяет производить замер в нужной области рабочей лопатки.

Для уменьшения количества пирометров и увеличения количества замеряемых зон можно использовать пирометры с четырьмя-пятью оптическими осями, которые позволяют производить визирование на 4-х - 5-ти участках рабочей лопатки одновременно.

Для определения работоспособности погружного пирометра был произведен расчет его теплового состояния (рис. 3). Максимальная температура внешней поверхности экрана, находящаяся в проточной части, превысила на 133°C температуру самого материала. Максимальная температура объектива на 7°C ниже максимальной рабочей температуры линзы. Такое распределение температуры свидетельствует о наличии застойной зоны в нижней части экрана.

По результатам расчетов произведены доработки конструкции (добавлены отверстия охлаждения нижней части экрана, определен оптимальный расход охлаждаемого воздуха, изменено положение пояса объектива) и произведен повторный тепловой расчет измененной конструкции (рис. 4). Внедренные изменения позволили снизить температуру экрана на 177°C, температура объектива снизилась на существенно на 7°C. Веденные изменения позволяют установить погружной пирометр на опытный перспективный двигатель.

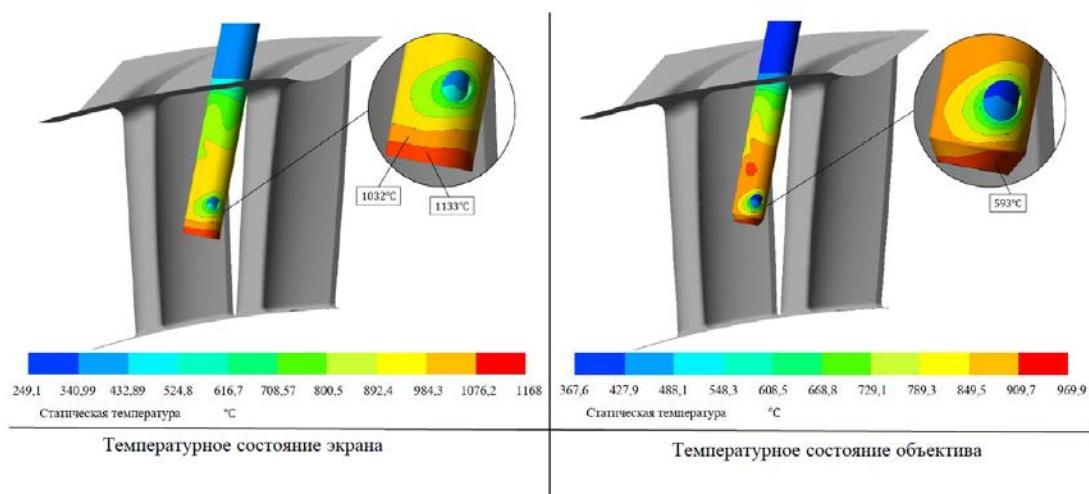


Рис. 3 – Температурное состояние исходной конструкции пирометра

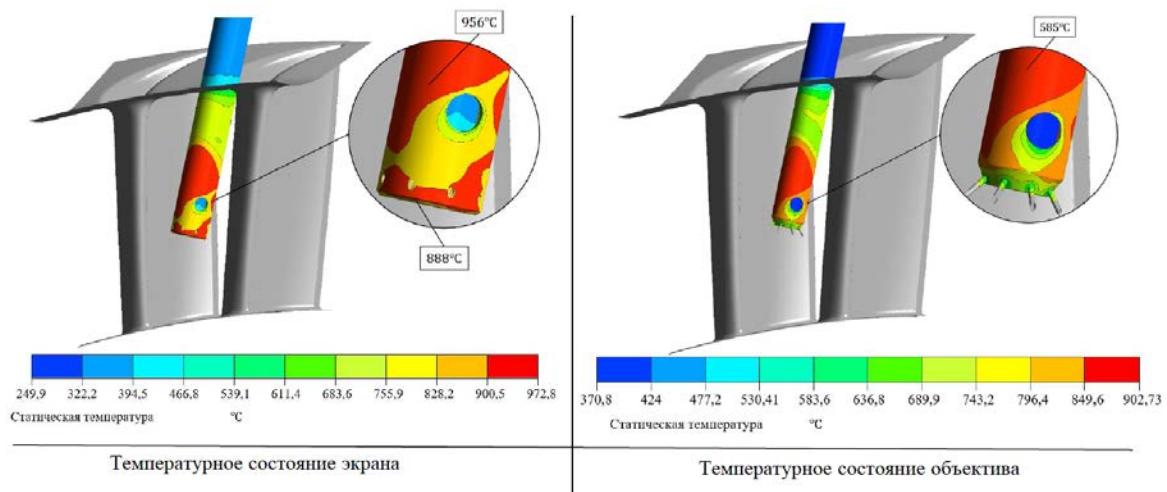


Рис. 4 – Температурное состояние измененной конструкции пирометра

Таким образом, погружной пирометр позволит производить замеры температуры поверхности рабочей лопатки без внесения в геометрию деталей ротора доработок, которые ограничивают режимы испытаний и приводят к отстранению дорогостоящей материальной части, а также ускорить время подготовки турбины к испытаниям.

### Список литературы

1. Duan F L et al 2020 Robust thin-film temperature sensors embedded on nozzle guide vane surface AIAA J. 1–5.
2. Губайдуллин, И.Т., Оптическая пирометрическая система для измерения температуры поверхности лопаток турбины газогенератора газотурбинного двигателя и диагностики технического состояния / И.Т. Губайдуллин, Т.П. Андреева, А.С. Складчиков // Авиационно-космическая техника и технология; ОАО УНПП «Молния». – 2012. – №10 (97). – С. 133-139.

### DEVELOPMENT OF THE DEVICE OF EXPERIMENTAL MEASUREMENT OF THE TEMPERATURE OF THE WORKING BLADE

Savelyev E.Y., Efremov D.V., Mayorova E.S., Novosadov D.A., Gorbatuk E.K.  
JSC Kuznetsov, Samara, Russia, suprisecool@yandex.ru

*Keywords: immersion pyrometer, temperature field, working blade, thermocouples*

Using the mocuples to measure temperature is inefficient (high time costs, modification of components), so an immersion pyrometer was developed. It allows you to measure the temperature of the working blade from a distance. The pyrometer design was developed, and a thermal calculation was performed to determine the pyrometer's operability.