

*На конкурс  
«Авиастроитель года» по итогам 2020 г.*

*Номинация № 4. «За создание новой технологии»*

### **Конкурсная работа**

#### **Способ прямого замера силы на опоре ротора авиационного газотурбинного двигателя**

В настоящей конкурсной работе представлена разработка авторского коллектива отдела прочности «ОКБ им. А.Люльки» филиала ПАО «ОДК-УМПО» **«Способ прямого замера силы на опоре ротора авиационного газотурбинного двигателя»**. Вышеуказанный способ разработан и внедрен в «ОКБ им. А.Люльки» филиала ПАО «ОДК-УМПО» для выполнения обязательных требований нормативно-технической документации к разработке авиационного газотурбинного двигателя (ГТД). Испытания по прямому замеру осевой силы с роторов проводят как при разработке новых авиационных ГТД, так и при внесении изменений в процессе доводки уже существующих серийных ГТД.

Следует отметить, что до настоящего времени в России отсутствовал способ прямого замера осевой силы, приходящей с ротора на опору, не требующий доработки элементов последней или создания специальной опоры для проведения данного натурного испытания. Предлагаемое техническое решение защищено патентом РФ на изобретение RU 2729592 C1 с приоритетом от 12.11.2019 г. (опубликовано 11.08.2020 г.).

### **Авторский коллектив**

#### **Гусенко Сергей Михайлович**

Дата рождения: 21.11.1979

Должность: начальник бригады статической прочности статора

Лауреат премии им. А. Люльки первой и третьей степени

Награждён нагрудным знаком «Медаль им. Н.Д. Кузнецова», 2021 г.

#### **Дмитриев Алексей Владимирович**

Дата рождения: 26.04.1978

Должность: начальник бригады конструкторского сопровождения испытаний

#### **Терешко Антон Герольдович**

Дата рождения: 06.07.1979

Должность: начальник отдела экспериментальной прочности

Лауреат премии им. А. Люльки второй степени

Лауреат всероссийского конкурса «Инженер года», 2021 г.

## **Введение**

При создании и доводке современного авиационного ГТД обязательным требованием является проведение целого ряда экспериментов, позволяющих определять основные параметры разрабатываемого двигателя. Один из таких важных параметров – осевая сила, приходящаяся с ротора ГТД на его опору, включающую радиально-упорный подшипник. Величина осевой силы необходима для определения ресурса последнего, а также при определении газодинамической увязки всего двигателя.

## **Актуальность**

Задача определения осевой силы с ротора актуальна и востребована на стадии опытной доводки при проектировании турбомашины. Экспериментальное подтверждение правильности предварительных расчетов позволяет уточнить газодинамические расчеты проточной части со стороны ротора, гидравлические расчеты пневмосхемы вокруг ротора, изменение осевых зазоров между статорными и роторными лопатками в процессе работы турбомашины и т.д. Экспериментальное определение осевой силы с ротора турбомашины требует изготовления специальной для этих целей опоры или существенной доработки элементов существующей опоры.

В настоящее время в ОКБ им. А. Люльки разрабатывается ряд новых перспективных ГТД. Также осуществляется доводка серийного изделия в части изменения его пневмосхемы для улучшения параметров его работы, что отразится на значениях осевых сил, приходящих с роторов низкого и высокого давления на статор.

В соответствии с требованиями нормативно-технической документации для определения значений осевой силы с роторов требуется проводить испытания по ее прямому замеру для каждого ГТД.

В рамках работ по подготовке натурных испытаний новых ГТД, а также для подтверждения вносимых изменений в процессе доводки существующих ГТД, авторами разработан способ определения осевой силы с ротора, приходящей на его опору, не требующий внесения изменений в существующую конструкцию последней.

## **Описание технического решения**

Современный авиационный ГТД представляет собой технически сложный высоконагруженный объект, работающий на разных режимах в широком диапазоне полетных условий. В частности, это обуславливает изменение значений и направления осевой силы с ротора в процессе работы ГТД. Данные особенности нагрузления радиально-упорного подшипника в значительной мере ограничивают его ресурс.

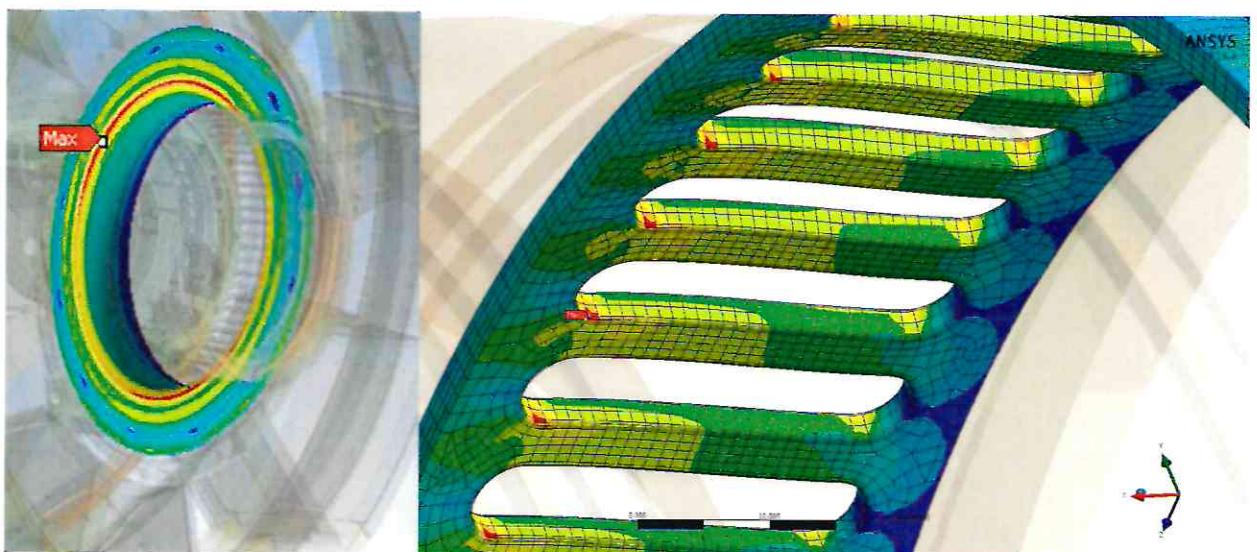
Для обеспечения возможности правильной оценки ресурса радиально-упорного подшипника в процессе разработки и доводки авиационного ГТД необходимо знать значения осевой силы, действующей с ротора, на характерных режимах работы, полученные прямыми замерами. Использование известных способов непосредственного замера осевой силы с ротора на двигателе, например, применение в конструкции опоры торцевых упругих колец, требует доработки элементов опоры или создания новой специальной опоры, что делает данную материальную часть уникальной и приводит к дополнительным временными и экономическим затратам.

Разработанный способ авиационного ГТД предназначен для прямого замера силы на существующей опоре ротора без доработки ее элементов.

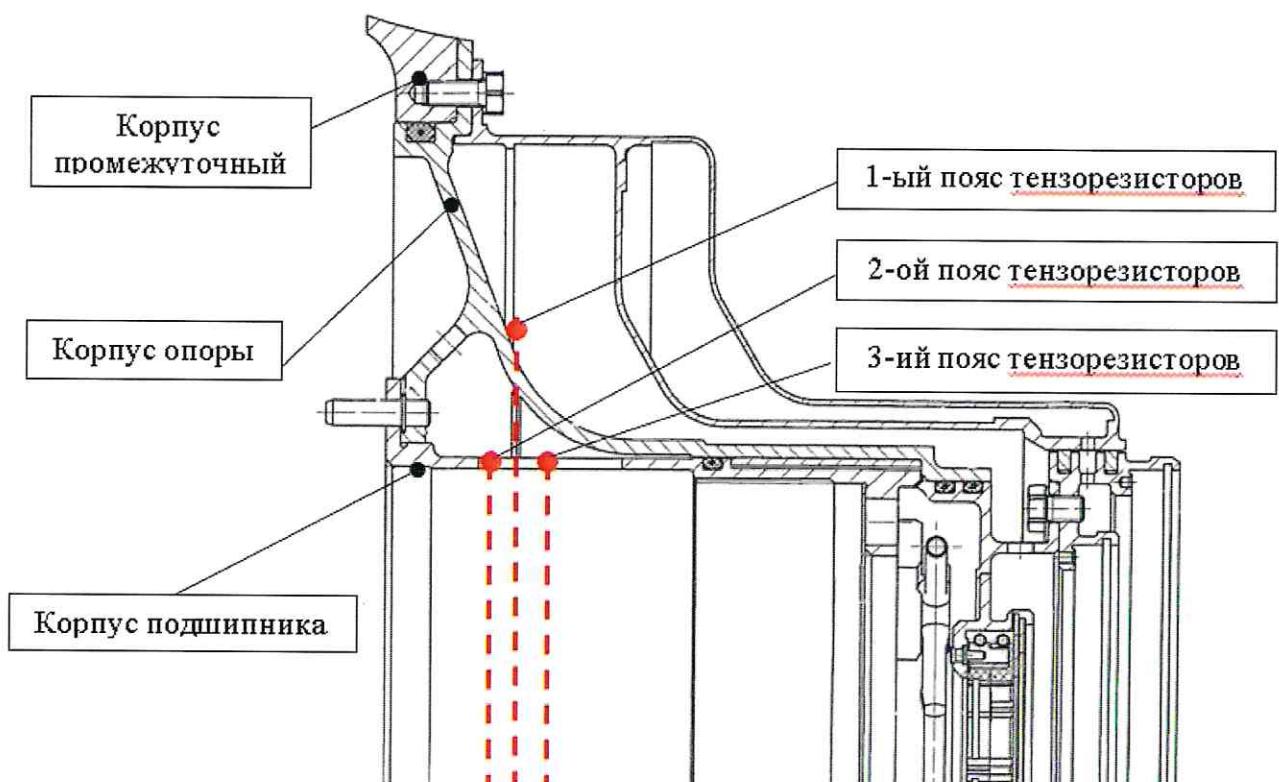
## Сущность представляемого способа:

- определение расчетным способом наиболее подверженных деформациям под действием осевой силы элементов опоры ротора.

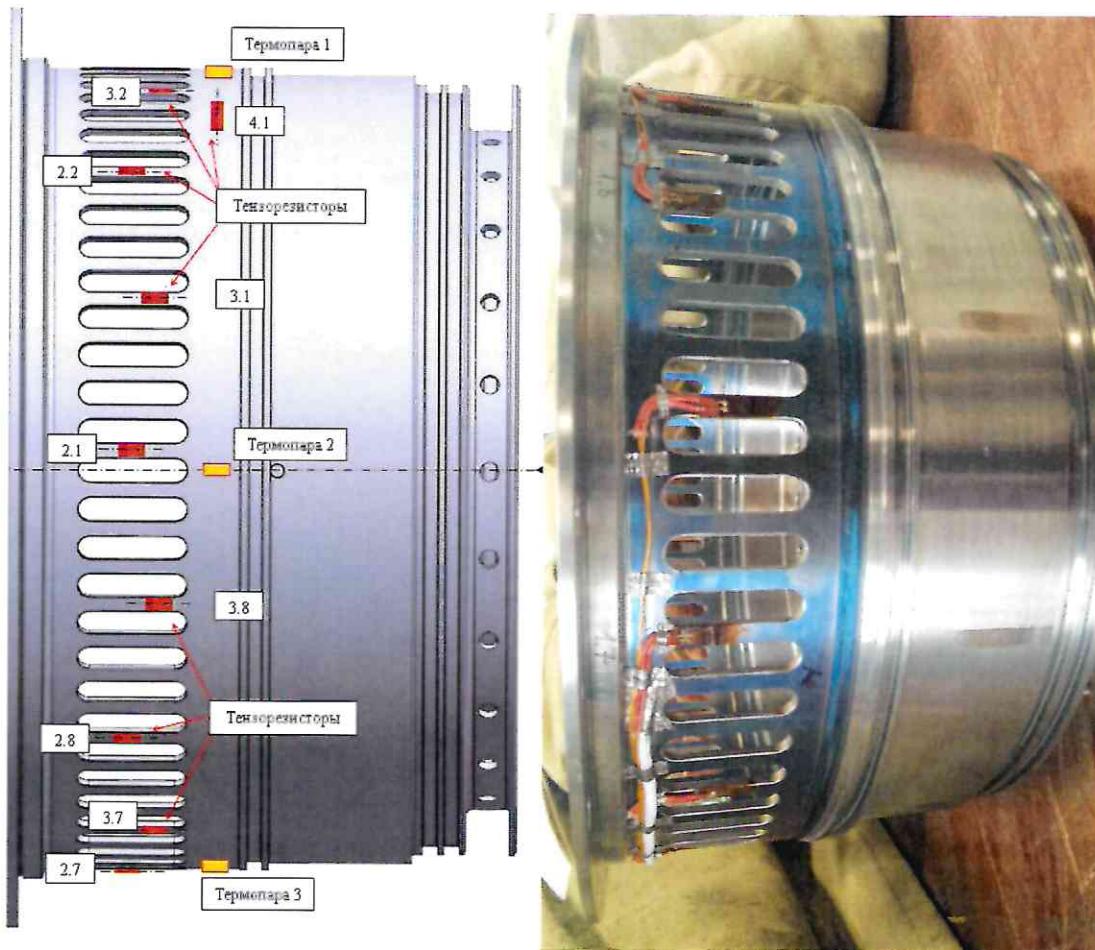
Для определения мест установки тензометрических датчиков был проведен ряд расчетов методом конечных элементов.



На основании данных расчетов были определены пояса установки тензометрических датчиков.



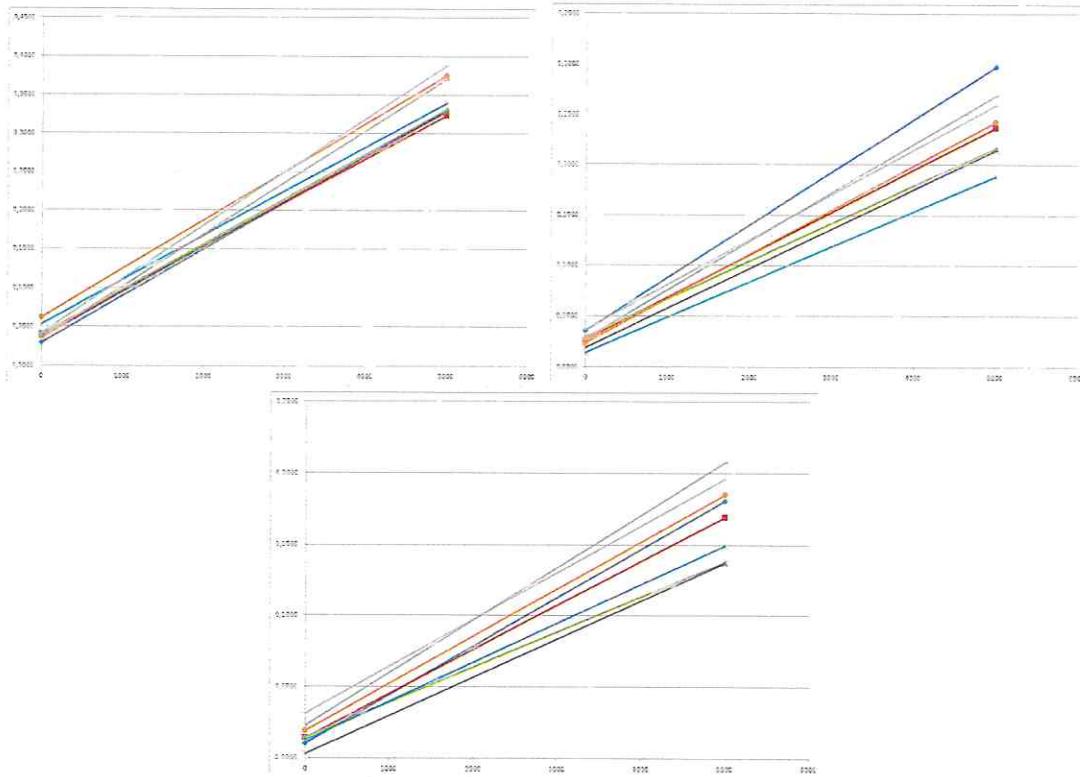
- установка тензометрических датчиков и термопар в определенные ранее места на элементах опоры ротора.



- проведение тарировки тензометрических датчиков в лабораторных условиях;

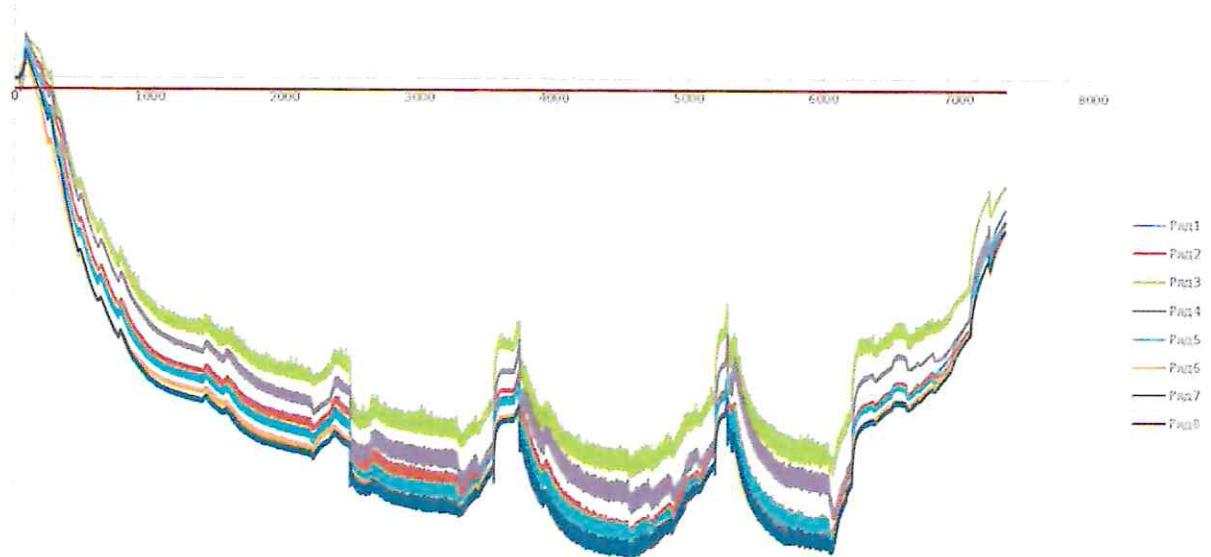


По результатам тарировки датчиков в лабораторных условиях получают тарировочные графики для заведения их в измерительную аппаратуру при испытании ГТД.



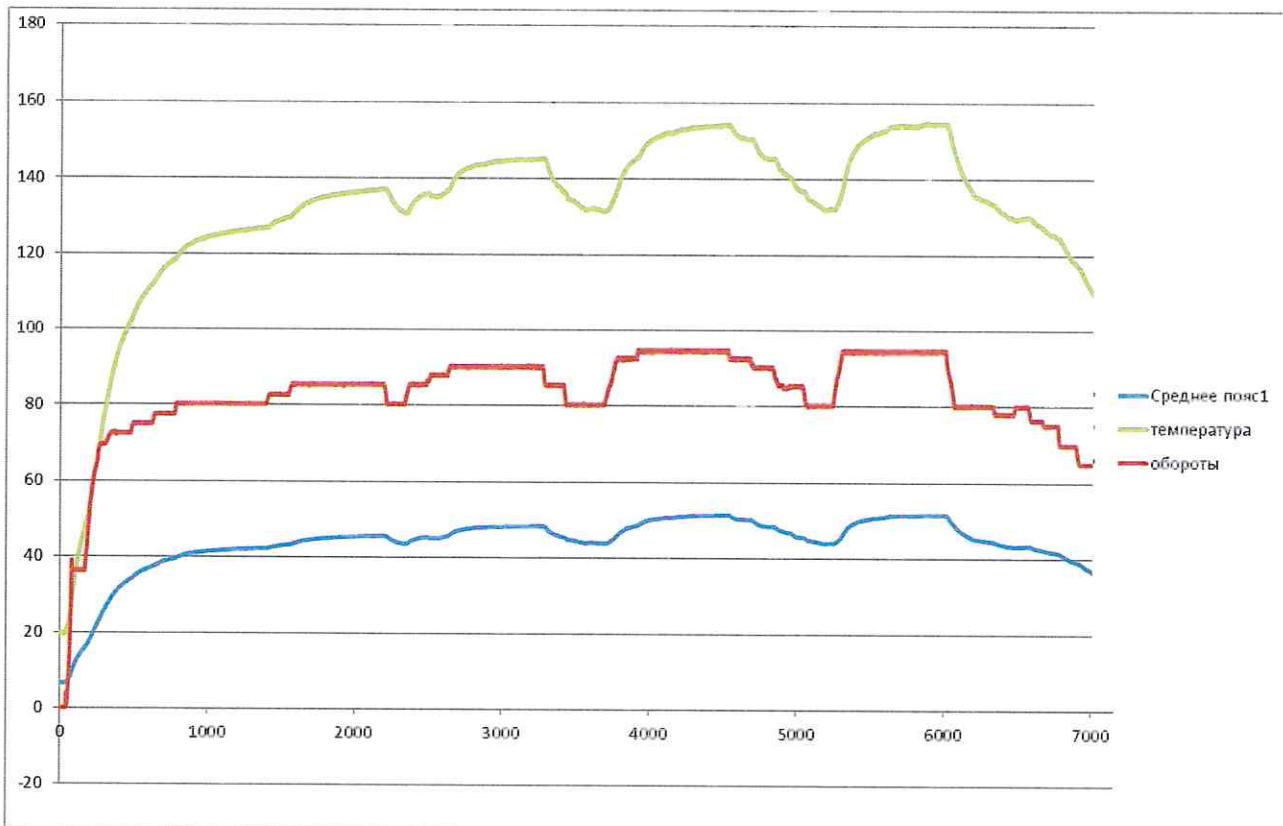
- *проведение испытаний ГТД с записью сигналов установленных замеров и их последующей обработкой.*

Для примера графике ниже представлена картина показаний с тензометрических датчиков первого пояса в зависимости от времени запуска ГТД до обработки сигнала.



- получение из данных испытаний графика осевой силы с ротора по времени запуска с учетом рабочих температур.

Для примера на графике ниже представлена осредненный график осевой силы по показаниям тензометрических датчиков с постобработкой сигналов (синий график). Для большей информативности на него также наложены график изменения оборотов ротора (бежевый график) и средняя температура в месте установки тензометрических датчиков первого пояса (зеленый график) по времени запуска ГТД.



Заявленный способ за счет предварительного исследования современными численными методами мест расположения тензодатчиков сводит к минимуму подготовительные работы в обеспечение испытаний по определению осевой силы с ротора турбомашины и не требует проектирования и изготовления дополнительной материальной части и доработки существующей материальной части, что позволяет использовать в дальнейшем опору ротора для проведения других испытаний и/или при дальнейшей эксплуатации без дополнительных затрат в обеспечение проведения данных испытаний с сохранением требуемой точности и информативности получения результата и без снижения ресурса элементов опоры ротора и турбомашины в целом.

### **Практическая значимость**

Высокая практическая значимость указанного способа подтверждается его простотой и возможностью применения практически на любой опоре любого ГТД при условии обязательного требования нормативно-технической документации по проведению прямого замера осевой силы роторов.

## **Направления дальнейшего применения технического решения**

В настоящее время данный способ опробован в процессе доводки перспективного изделия и планируется к применению:

- в работах по валидации данного способа по результатам совмещенных испытаний с одним из традиционных способов для оценки точности замера осевой силы с ротора и возможности дальнейшего его применения в рамках сертификации ГТД;
- в работе по определению осевой силы с роторов перспективного изделия после завершения его доводки;
- в работе по определению осевой силы с роторов серийного изделия после внесения изменений в его пневмосхему;
- в работе по определению осевой силы с роторов будущих перспективных изделий, которые находятся в процессе доводки, и будущих перспективных изделий.

## **Экономический эффект**

Внесение изменений в существующую конструкцию опоры ротора, делая ее уникальной и исключая возможность ее последующего применения в дальнейших испытаниях при доводке ГТД, или проектирование с последующим изготовлением специальной опоры ротора приводит к значительным временным, трудовым и финансовым затратам.

## **Выводы**

1. Разработан способ прямого замера осевой силы ротора, приходящей на радиально-упорный подшипник.

2. Разработанный способ опробован в процессе доводки перспективного изделия.

3. Востребованность проведения испытаний по определению осевой силы с роторов ГТД обусловлена требованиями нормативно-технической документации. Применение данного способа в подобных испытаниях целесообразно по причине его простоты относительно традиционных способов.

4. Применение данного способа экономически целесообразно и позволяет существенно снизить затраты на проведение испытаний по прямому замеру осевой силы с ротора, приходящей на опору.

5. Данный способ прямого замера осевой силы ротора ГТД защищён патентом РФ на изобретение RU 2729592 C1 с приоритетом от 12.11.2019 г.

Начальник управления прочности  
«ОКБ им. А Люльки»  
филиала ПАО «ОДК-УМПО»



М.А. Богданов