

DOI: 10.15593/2224-9982/2022.69.08

УДК 681.518

**А.В. Блинов<sup>1</sup>, С.Ю. Боровик<sup>2</sup>, М.В. Лучшева<sup>1</sup>,  
Ф.И. Мухутдинов<sup>1</sup>, Ю.Н. Секисов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ОДК-Авиадвигатель, Пермь, Россия

<sup>2</sup> Самарский федеральный исследовательский центр РАН,  
Институт проблем управления сложными системами РАН, Самара, Россия

## **МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПАР ТРЕНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРОВ ОДНОВИТКОВЫХ ВИХРЕТОКОВЫХ ДАТЧИКОВ**

Рассматриваются задачи онлайн-оценки состояния пар трения энергосиловых установок повышенной мощности и предлагаются подходы к их решению. Отмечается, что разработка соответствующих методов и средств мониторинга параметров состояния подшипниковых узлов подобного класса машин позволит не только своевременно обнаружить повреждения подшипника и возникновение предотказного состояния энергосиловой установки, но и оценить остаточный ресурс пары трения в каждый текущий момент времени. А это, в свою очередь, способствует переходу от традиционного регламентного обслуживания и эксплуатации силовых установок к их обслуживанию и эксплуатации по фактическому состоянию. Предлагаемые решения базируются на применении оригинальных одновитковых вихретоковых датчиков с чувствительными элементами в виде отрезка проводника или одиночного контура тока, а также их кластерных композиций (групп датчиков или датчиков с группой чувствительных элементов). Простота конструкции датчиков и заложенные в них технологические решения обеспечивают высокие технические и эксплуатационные характеристики первичных преобразователей, в том числе в условиях применения датчиков на рабочих режимах функционирования силовых установок. В качестве основных контролируемых параметров предлагается использовать информацию о наличии металлических частиц износа пар трения, омываемых маслом, в системе смазки силовой установки, а также осевое перемещение вала в радиально-упорном подшипнике. На основе полученной информации о состоянии подшипникового узла может быть дана оценка его остаточного ресурса. Приводится краткое описание предлагаемых методов получения информации об искомых параметрах и рассматриваются принципы построения систем, реализующих указанные методы на уровне обобщенной структурной схемы.

**Ключевые слова:** энергосиловая установка, система смазки, пары трения, частицы изнашивания, подшипниковый узел, мониторинг состояния, оценка остаточного ресурса, одновитковые вихретоковые датчики, кластерные композиции, структура технических средств.

**A.V. Blinov<sup>1</sup>, S.Yu. Borovik<sup>2</sup>, M.V. Luchsheva<sup>1</sup>,  
F.I. Muhutdinov<sup>1</sup>, Yu.N. Sekisov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> UEC-Aviadvigatel, Perm, Russian Federation

<sup>2</sup> Samara Federal Research Scientific Center RAS,  
Institute for the Control of Complex Systems RAS, Samara, Russian Federation

## **THE STATE MONITORING OF POWER PLANTS' FRICTION PAIRS ON THE BASE OF CLUSTERS OF SINGLE-COIL EDDY-CURRENT SENSORS**

The tasks of on-line assessment of the state of friction pairs of high-powered power plants are considered. The approaches to the solution of the tasks are offered, too. It is noted that the development of the appropriate methods and means for monitoring the parameters of the condition of bearing units of this class of machines will allow not only to detect timely the bearing damage and appearance of the pre-load state of the power plant, but also to estimate the residual life of the friction pair at each current point in time. This, in turn, facilitates the transition from the traditional routine maintenance and operation of power plants to their condition-monitored maintenance and operation. The proposed solutions are based on the use of original single-coil eddy-current sensors with sensitive elements in the forms of a wire segment or a single current circuit, as well as their cluster compositions (sensor's groups or sensors with a group of sensitive elements). The simplicity of the sensor's design and

the technological solutions embedded in it ensure high technical and operational characteristics of the primary transducer and give the opportunity to use the sensors in real operating modes of power plants. It is proposed to use the information about the presence of metal wear particles of the friction pairs, washed with oil, in the lubrication system of the power plant and the axial displacement of the shaft in a radial thrust bearing as the main monitored parameters. The estimation of the bearing residual life resource can be given on the base of the information about the state of friction pair. A brief description of the methods for obtaining the information about the desired parameters is given. The principles of the construction of monitoring systems implement the methods is provided on the base of generalized structural scheme.

**Keywords:** power plant, lubrication system, friction pairs, wear particles, bearing unit, state monitoring, residual resource evaluation, single-coil eddy current sensor, cluster composition, hardware structural scheme.

В мае 2021 г. в Москве на базе ЦИАМ им. П.И. Баранова совместно с АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» состоялась международная научно-техническая конференция International Conference on Aviation Motors (ICAM 2020). Одно из направлений конференции было посвящено актуальным проблемам проектирования систем автоматического управления, контроля и диагностики современных газотурбинных двигателей на основе передовых отечественных подходов и технологий. В рамках указанного направления был представлен доклад, посвященный созданию бортовых систем мониторинга состояния пар трения энергосиловых установок на основе одновитковых вихретоковых датчиков с чувствительными элементами в виде отрезка проводника или одиночных контуров тока. Настоящая статья представляет собой расширенную версию указанного доклада и призвана познакомить заинтересованного читателя с современными исследованиями и разработками в указанной области.

Одними из наиболее типичных представителей энергосиловых установок повышенной мощности являются газотурбинные двигатели (ГТД), которые находят широкое применение в авиационной, наземной и морской технике. Опыт эксплуатации ГТД в России и в мире свидетельствует о значительном количестве отказов силовых установок в связи с выходом из строя смазываемых узлов трения.

В работе [1] утверждается, что общее число отказов ГТД, связанных с узлами трения, может превышать 30 %. В свою очередь, из материалов совещания ассоциации «Союз авиационного двигателестроения» [2], а также отчетов Межгосударственного авиационного комитета (МАК) о расследовании причин авиационных происшествий (по публикациям СМИ [3–5]), следует, что наличие частиц из-

нашивания (стружки) трущихся узлов ГТД в смазке является одной из причин, приводящей к повреждению двигателя. Поэтому можно признать, что бортовая диагностика узлов трения энергосиловых установок является актуальной задачей.

Очевидно, что разработка соответствующих методов и средств онлайн-мониторинга параметров состояния подшипниковых узлов позволит не только своевременно обнаружить повреждения подшипника и возникновение предотказного состояния энергосиловой установки, но и оценить остаточный ресурс пары трения в каждый текущий момент времени.

Решение указанной задачи возможно на основе вихретоковых методов измерения. В качестве диагностических параметров, позволяющих оценивать состояние пары трения, предлагается использовать осевое смещение вала в радиально-упорном подшипнике (РУП) и наличие частиц изнашивания в масле системы смазки силовой установки.

В статье кратко излагаются способы оценки состояния пар трения и приводится описание обобщенной структуры системы мониторинга. Предлагаемые технические решения базируются на применении оригинальных одновитковых вихретоковых датчиков (ОВТД) и их кластерных композиций, которые обеспечивают надежное функционирование в реальных условиях эксплуатации ГТД [6].

### Оценка состояния пар трения

Роторы силовых установок участвуют в преобразовании энергии и в связи с большой массой и высокими скоростями вращения оказывают значительное силовое воздействие на подшипниковые узлы в составе опор. Как правило, один из подшипников выполняется радиально-упорным и воспринимает осевую и

радиальную нагрузки, а второй – радиальным, воспринимающим только радиальную нагрузку и обеспечивающим перемещение вала ротора в осевом направлении для компенсации температурных воздействий.

Очевидно, что по мере износа РУП вал в подшипнике будет смещаться в направлении действия осевой силы. Сопоставляя осевое смещение вала в каждый текущий момент времени по сравнению с его первоначальным положением при запуске силовой установки в эксплуатацию, можно оценить износ РУП.

Для определения осевого смещения вала в РУП могут быть использованы кластерные методы измерения радиальных и осевых смещений элементов конструкций силовых установок на основе групп ОВТД [7–9]. На рис. 1 представлена схема размещения кластера из двух ОВТД, предназначенного для измерения осевых смещений (ОС) вала.

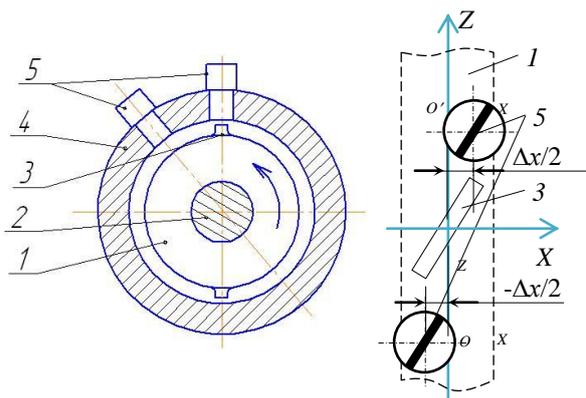


Рис. 1. Размещение ОВТД на статоре силовой установки для измерения осевого смещения вала: 1 – колесо; 2 – вал; 3 – лопатка; 4 – статор; 5 – ОВТД

ОВТД устанавливаются на статор силовой установки над лопаточным венцом рабочего колеса с заданным смещением в направлении оси вращения  $Z$ . Чувствительные элементы (ЧЭ) обоих ОВТД ориентируются параллельно торцевой части лопатки. При этом геометрический центр (г.ц.) ЧЭ первого ОВТД смещен по оси  $X$  относительно г.ц. лопатки на величину, равную  $-\frac{1}{2}\Delta x$ , а г.ц. ЧЭ второго ОВТД – на величину  $+\frac{1}{2}\Delta x$ , где  $\Delta x$  – диапазон возможных осевых смещений вала в РУП.

Каждый из ОВТД подключен к измерительной цепи (ИЦ), обеспечивающей получе-

ние аналогового сигнала в виде импульсов напряжения в моменты прохождения торцами лопаток под ЧЭ соответствующего датчика. Временные диаграммы изменений выходных сигналов ИЦ обоих ОВТД при отсутствии и наличии осевого смещения (ОС) вала показаны на рис. 2, а и б соответственно. Как видно из представленных диаграмм, если смещение вала отсутствует, то в момент прохождения зон чувствительности ОВТД обоих датчиков торец лопатки будет находиться в равной удаленности от центров ЧЭ ОВТД<sub>1</sub> и ЧЭ ОВТД<sub>2</sub>, а потому амплитуда сигналов на выходе ИЦ<sub>1</sub> и ИЦ<sub>2</sub> будет примерно одинаковой и зависящей от величины радиального зазора до торца лопатки.

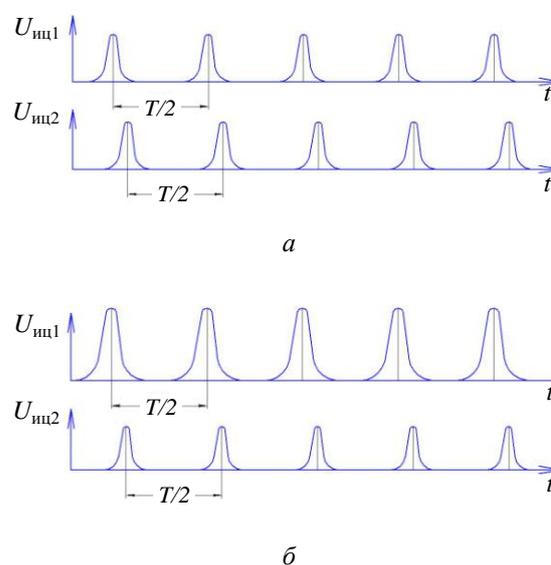


Рис. 2. Временные диаграммы изменения сигнала на выходе ИЦ первого ( $U_{ИЦ1}$ ) и второго ( $U_{ИЦ2}$ ) ОВТД при отсутствии (а) и наличии (б) ОС вала в РУП

Появление осевого смещения приведет к тому, что лопаточное колесо окажется ближе к одному из ОВТД (на рис. 2 это ОВТД<sub>1</sub>) и при прочих равных условиях равенство амплитуд выходных сигналов ИЦ<sub>1</sub> и ИЦ<sub>2</sub> будет нарушено. Анализ указанной разности амплитуд на каждом обороте лопаточного колеса позволяет непрерывно следить за величиной ОС вала, связанного с износом РУП, и по заданным уставкам формировать соответствующие сигналы о состоянии подшипникового узла.

Второй из рассматриваемых в статье способов оценки фактического состояния

подшипника ориентирован на обнаружение частиц изнашивания в системе его смазки. В настоящее время известны сигнализаторы стружки в масле, реализующие вихретоковые методы измерения [1; 10]. Хорошим примером подобных систем могут служить системы непрерывного контроля стружки на основе датчиков MetalSCAN MS1000 и MS4000 фирмы GasTOPS (Канада) [11; 12]. В то же время, как показано в [13], чувствительность таких датчиков снижается по мере увеличения диаметра трубопровода системы смазки и при определенных условиях может оказаться недостаточной для обнаружения частиц изнашивания малого размера. Альтернативой может служить кластерный ОБТД с ортогональной ориентацией контуров ЧЭ по отношению к контролируемому объекту (частице изнашивания) [13].

Для повышения чувствительности преобразования общий поток масла, поступающий в датчик, разделен на  $N$  независимых потоков с меньшей площадью сечения (рис. 3) [14] (СТ – это согласующий трансформатор – то что обведено пунктиром).

Каждый независимый поток охватывается одиночным витком тока, располагающимся в трубопроводе маслосистемы двигателя. Площадь сечения каждого из  $N$  потоков, с одной стороны, должна гарантировать отсутствие задержки частиц изнашивания (датчик не должен работать как фильтр частиц), а с другой стороны, должна обеспечивать приемлемую чувствительность к частицам малого размера. Суммарная же площадь сечений всех  $N$  потоков должна быть равна площади сечения входного потока.

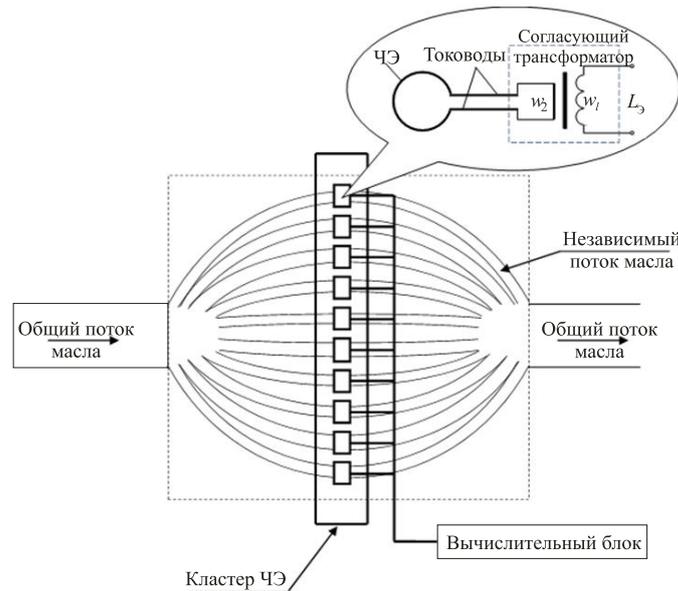


Рис. 3. Разделение потока масла на  $N$  независимых потоков и размещение в них одновитковых вихретоковых ЧЭ

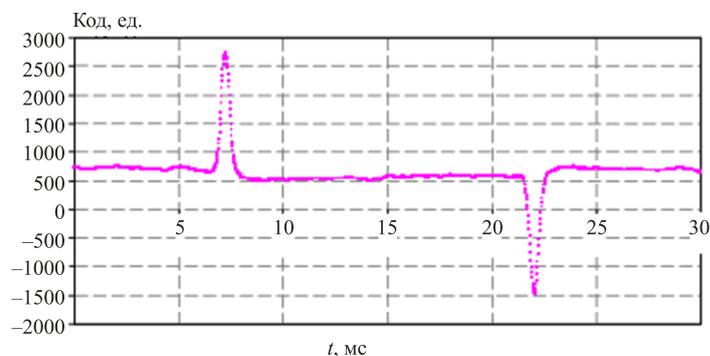


Рис. 4. Изменения цифрового кода при прохождении единичной частицей изнашивания контура ЧЭ

При проходе частицей изнашивания контура ЧЭ на выходе соответствующего измерительного преобразователя формируется два разнополярных импульсных сигнала (рис. 4). Амплитудное значение сигналов характеризует размер частицы изнашивания, очередность следования полярностей сигнала позволяет определить вид частицы (магнитный/немагнитный), а временной интервал ( $\Delta t$ ) между сигналами позволяет оценить скорость движения частицы в потоке масла, что при определенных допущениях соответствует скорости потока масла:

$$v = \frac{\Delta k}{\Delta t},$$

где  $\Delta k$  – расстояние между ЧЭ в масляном канале датчика [15; 16].

Следует также отметить, что разделение потока предложенным способом, помимо повышения чувствительности, также повышает и вероятность обнаружения единичных частиц изнашивания, идущих в одном сечении потока основного трубопровода маслосистемы силовой установки.

### Структура системы мониторинга

Обобщенная функциональная схема системы мониторинга состояния подшипникового узла (СМСПУ), реализующая описанные выше способы контроля, представлена на рис. 5.



Рис. 5. Обобщенная функциональная схема СМСПУ

В СМСПУ можно выделить две подсистемы – подсистему контроля стружки и подсистему измерения ОС вала. Обе подсистемы

имеют идентичные функциональные блоки, но их схемотехническое исполнение различно.

Основой обеих подсистем являются ОВТД - датчик частиц изнашивания (ДЧИ) с ЧЭ в виде одиночного витка, охватывающего масляный канал и датчик радиального зазора (ДРЗ) с ЧЭ в виде одиночного проводника. ИЦ в обеих подсистемах преобразуют информационные параметры датчиков (изменения индуктивности ЧЭ) в аналоговый электрический сигнал в виде напряжения, которое затем нормализуется в блоке формирования нормированного сигнала (БФНС) до уровня, соответствующего используемым аналого-цифровым преобразователям (АЦП). Далее производится обработка измерительной информации в блоке формирования диагностических характеристик (БФДХ) и определяется, соответственно, факт наличия частиц изнашивания в системе смазки и характеристики частиц (магнитные свойства частиц, их размеры и интенсивность появления), а также величина ОС вала в РУП. На основе полученной информации о состоянии подшипникового узла может быть дана оценка его остаточного ресурса. Эта операция осуществляется в блоке диагностики состояния подшипника (БДСП), в который поступает информация от двух подсистем. На БДСП также возлагается функция аварийной сигнализации в случае выработки ресурса подшипника и приближения к опасным состояниям.

### Выводы

Предложены два способа получения информации для онлайн-оценки состояния пар трения энергосиловых установок повышенной мощности, в основе которых лежит применение ОВТД и их кластерных композиций. В качестве основных мониторируемых параметров состояния подшипникового узла выбраны информация о наличии частиц металла в системе смазки силовой установки и осевое перемещение вала в РУП. Предложена обобщенная функциональная схема СМСПУ, реализующая рассмотренные способы контроля состояния подшипникового узла.

### Библиографический список

1. Степанов В.А. Разработка и исследование методов и средств комплексной диагностики смазываемых узлов трения газотурбинных двигателей по параметрам продуктов износа в масле: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.04.12, 05.02.04. – М., 2000. – 40 с.
2. Отказы двигателей отечественной авиационной техники двигателя [Электронный ресурс]. – URL: <http://aviac.ru/engines/777-otkazy-dvigatelay-otechestvennoy-aviacionnoy-tehniki.html> (дата обращения: 02.04.2022).
3. Экстренная посадка самолета Ил-76 произошла из-за стружки в масляной системе. – URL: <http://www.aviaport.ru/digest/2007/04/16/119399.html> (дата обращения: 02.04.2022).
4. Причиной аварии Ан-24 стала стружка в масле двигателя [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.irk.ru/news/20110719/shavings/> (дата обращения: 02.04.2022).
5. В Красноярске из-за стружки в масле совершил вынужденную посадку вертолет с вахтовиками [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.samara.kp.ru/daily/27103.4/4176351/> (дата обращения: 02.04.2022).
6. Borovik S., Sekisov Y. Single-Coil Eddy Current Sensors and Their Application for Monitoring the Dangerous States of Gas-Turbine Engines // *Sensors* 2020. – Т. 20. – С. 2107.
7. Методы и средства измерения многомерных перемещений элементов конструкций силовых установок / под ред. Ю.Н. Секисова, О.П. Скобелева. – Самара: Самар. науч. центр РАН, 2001. – 188 с.
8. Кластерные методы и средства измерения деформаций статора и координат смещений торцов лопаток и лопастей в газотурбинных двигателях / под общ. ред. О.П. Скобелева – М.: Машиностроение, 2011. – 298 с.
9. Кластерные методы и средства измерения радиальных зазоров в турбине / под общ. ред. О.П. Скобелева. – М.: Инновационное машиностроение, 2018. – 224 с.
10. Глава 3. – Системы диагностики [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.avid.ru/upload/pages/3198/3-3-Diagnostirovanije\\_raboty\\_maslosistemy\\_i\\_sostojanija\\_uzlov\\_GTD.pdf](http://www.avid.ru/upload/pages/3198/3-3-Diagnostirovanije_raboty_maslosistemy_i_sostojanija_uzlov_GTD.pdf) (дата обращения: 02.04.2022).
11. Cassidy K. Qualification of an On-Line Bearing and Gear Health Monitoring Technique for In-Service Monitoring of Aircraft Engines and Helicopter Transmissions [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.gastopsusa.com/knowledge\\_center\\_documents/1/ MetalSCAN\\_ISHM07.pdf](http://www.gastopsusa.com/knowledge_center_documents/1/ MetalSCAN_ISHM07.pdf) (дата обращения: 02.04.2022).
12. Халиуллин В. Маслосистема под непрерывным контролем // Информационно-технический бюллетень «Пермские газовые турбины». – 2012. – № 22. – С. 46–48.
13. Особенности преобразования информации в системе контроля частиц износа пар трения на основе кластера одновитковых вихретоковых чувствительных элементов / С.Ю. Боровик, Ю.Н. Секисов, А.В. Блинов, Ф.И. Мухутдинов // Турбины и дизели. – 2017. – № 4 (73). – С. 10–17.
14. Способ обнаружения металлических частиц износа в потоке масла работающего газотурбинного двигателя: Патент РФ 2646520 / Боровик С.Ю., Коршиков И.Г., Секисов Ю.Н. [и др.]. –2017100657; Заявл. 10.01.2017; Опубл. 05.03.2018, бюл. 7. – 6 с.
15. Способ обнаружения частиц металла в масле системы смазки узлов трения и определения скорости потока масла: Патент РФ 2668513 / Боровик С.Ю., Коршиков И.Г., Секисов Ю.Н. [и др.]. – 2017110634; Заявл. 29.03.2017; Опубл. 01.10.2018, бюл. 28. – 8 с.
16. Способ обнаружения частиц металла в системе смазки узлов трения силовых установок с разбиением на группы по размерам частиц: Патент РФ 2674577/ Боровик С.Ю., Коршиков И.Г., Белослудцев В.А., Секисов Ю.Н. – № 2017144465; Заявл. 18.12.2017; Опубл. 11.12.2018, бюл. 35. – 12 с.

### References

1. Stepanov V.A. Development and research of methods and tools for complex diagnostics of lubricated friction units of gas turbine engines by the parameters of wear products in the oil. Doctoral dissertation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 2020.
2. Failures of the engines of domestic aviation industry. Available online: <http://aviac.ru/engines/777-otkazy-dvigatelay-otechestvennoy-aviacionnoy-tehniki.html>.
3. The emergency landing of the IL-76 aircraft occurred due to the shavings in the oil system. Available online: <http://www.aviaport.ru/digest/2007/04/16/119399.html>.
4. The An-24 accident was caused by shavings in the engine oil. Available online: <http://www.irk.ru/news/20110719/shavings/>.

5. Helicopter with shift workers made an emergency landing in Krasnoyarsk due to the shavings in the oil. Available online: <https://www.samara.kp.ru/daily/27103.4/4176351/>.
6. Borovik S., Sekisov Y. Single-Coil Eddy Current Sensors and Their Application for Monitoring the Dangerous States of Gas-Turbine Engines // *Sensors* 2020, vol. 20, P. 2107.
7. Sekisov Yu.N., Skobelev, O.P.; Belenki L.B., et al. *Methods and Tools for Measuring Multidimensional Displacements of Structural Components of Power Plants*, ed. by Sekisov Yu.N. and Skobelev O.P., Izd. SamNTs RAN: Samara, Russian Federation, 2001; 188 p.
8. Belenki, L.B.; Borovik, S.Yu.; Raykov, B.K.; et al. *Cluster methods and tools for measuring stator deformations and displacement coordinates of blade tips and blades in gas turbine engines*, ed. by Skobelev O.P., Izd. Mashinostroenie: Moscow, Russian Federation, 2011; 298p.
9. Belopukhov, V.N.; Borovik, S.Yu.; Kuteynikova, M.M.; et al. *Cluster methods and tools for measuring radial clearances in turbine flow section*, ed. by Skobelev O.P., Izd. Innovatsionnoe mashinostroenie: Moscow, Russian Federation, 2018; 224p.
10. Chapter 3 - Diagnostic Systems. Available online: [http://www.avid.ru/upload/pages/3198/3-3-Diagnostirovaniye\\_raboty\\_maslosistemy\\_i\\_sostojaniya\\_uzlov\\_GTD.pdf](http://www.avid.ru/upload/pages/3198/3-3-Diagnostirovaniye_raboty_maslosistemy_i_sostojaniya_uzlov_GTD.pdf).
11. K. Cassidy *Qualification of an On-Line Bearing and Gear Health Monitoring Technique for In-Service Monitoring of Aircraft Engines and Helicopter Transmissions*. Available online: [http://www.gastopsusa.com/knowledge\\_center\\_documents/1/MetalSCAN\\_ISHM07.pdf](http://www.gastopsusa.com/knowledge_center_documents/1/MetalSCAN_ISHM07.pdf).
12. Haliullin, V. Oil system under continuous control. *Permskiye gazovye turbiny* 2012, 22, 46-48.
13. Borovik, S.Yu.; Sekisov, Yu.N.; Blinov, A.V.; et al. Transformation of the information in the monitoring system of wear-and-tear particles of friction pairs on the basis of the group of single-coil eddy-current sensitive elements. *Turbiny i Dieseli* 2017, 73(4), 10-17.
14. Borovik, S.Yu.; Korshykov, I.G.; Sekisov, Yu.N.; et al. *Sposob obnaruzheniya metallicheskih chastits iznosa v potoke masla robotayushchego gazoturbinnogo dvigatelya* [Method for detecting metal wear particles in the oil stream of a running gas turbine engine]. Patent RF, no. 2646520, 2018, 6p.
15. Borovik, S.Yu.; Korshykov, I.G.; Sekisov, Yu.N.; et al. *Sposob obnaruzheniya chastits metalla v masle sistemy smazki uzlov treniya i opredeleniya skorosti potoka masla* [Method for detecting metal particles in the oil of the friction unit lubrication system and determining the oil flow]. Patent RF, no. 2668513, 2018, 8 p.
16. Borovik, S.Yu.; Korshykov, I.G.; Belosludtsev, V.A.; et al. *Sposob obnaruzheniya chastits metalla v sisteme smazki uzlov treniya silovykh ustanovok s razbiyeniym na gruppy po razmeram chastits* [Method for detecting metal particles in the lubrication system of friction units of power plants with grouping of the particles by size]. Patent RF, no. 2674577, 2018, 12p.

#### Об авторах

**Блинов Андрей Владимирович** (Пермь, Россия) – заместитель начальника отдела по специальным видам диагностики, ОДК-Авиадвигатель (Пермь, 614990, Комсомольский пр., 93), e-mail: blinov-av@avid.ru.

**Боровик Сергей Юрьевич** (Самара, Россия) – доктор технических наук, директор, ведущий научный сотрудник, Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук – обособленное подразделение Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (Самара, 443020, ул. Садовая, 61), e-mail: borovik@iccs.ru.

**Лучшева Мария Витальевна** (Пермь, Россия) – инженер-исследователь, ОДК-Авиадвигатель (Пермь, 614990, Комсомольский пр., 93), e-mail: maier@avid.ru.

**Мухутдинов Фарит Ибраевич** (Пермь, Россия) – начальник бригады специальных видов диагностики, ОДК-Авиадвигатель (Пермь, 614990, Комсомольский пр., 93), e-mail: muhutdinov@avid.ru.

**Секисов Юрий Николаевич** (Самара, Россия) – доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук – обособленное подразделение Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (Самара, 443020, ул. Садовая, 61), e-mail: sekisov@iccs.ru.

### About the authors

**Andrey V. Blinov** (Perm, Russian Federation) – Deputy Head, Department of the Special Types of Diagnostics, UEC-Aviadvigatel (93, Komsomolsky Av., 614990, Perm), e-mail: blinov-av@avid.ru.

**Sergey Yu. Borovik** (Samara, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher, Director, Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute for the Control of Complex Systems RAS (61, Sadovaya str., 443020, Samara), e-mail: borovik@iccs.ru.

**Mariya V. Luchsheva** (Perm, Russian Federation) – Engineer-Researcher, UEC-Aviadvigatel (93, Komsomolsky Av., 614990, Perm), e-mail: maier@avid.ru.

**Farit I. Muhutdinov** (Perm, Russian Federation) – Head of the Brigade of Special Types of Diagnostics, UEC-Aviadvigatel (93, Komsomolsky Av., 614990, Perm), e-mail: muhutdinov@avid.ru.

**Yuriy N. Sekisov** (Samara, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute for the Control of Complex Systems RAS (61, Sadovaya str., 443020, Samara), e-mail: sekisov@iccs.ru.

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках научного проекта FEUG-2020-0013.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов.** Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Поступила: 30.05.2022

Одобрена: 03.06.2022

Принята к публикации: 04.08.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Мониторинг состояния пар трения энергосиловых установок на основе кластеров одновитковых вихретоковых датчиков / А.В. Блинов, С.Ю. Боровик, М.В. Лучшева, Ф.И. Мухутдинов, Ю.Н. Секисов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2022. – № 69. – С. 71–78. DOI: 10.15593/2224-9982/2022.69.08

Please cite this article in English as: Blinov A.V., Borovik S.Yu., Luchsheva M.V., Muhutdinov F.I., Sekisov Yu.N. The state monitoring of power plants' friction pairs on the base of clusters of single-coil eddy-current sensors. *PNRPU Aerospace Engineering Bulletin*, 2022, no. 69, pp. 71-78. DOI: 10.15593/2224-9982/2022.69.08