

**ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕРКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ РАДИАЛЬНО-УПОРНОГО ПОДШИПНИКА ТНА НК-33**

Белослудцев В.А.<sup>1</sup>, Боровик С.Ю.<sup>1</sup>, Данильченко В.П.<sup>1,2</sup>, Кутейникова М.М.<sup>1</sup>,  
Подлипов П.Е.<sup>1</sup>, Секисов Ю.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИПУСС РАН – СамНЦ РАН, г. Самара, borovik@iccs.ru

<sup>2</sup>ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара

*Ключевые слова: жидкостный реактивный двигатель, турбонасосный агрегат, радиально-упорный подшипник, износ, осевые перемещения вала, одновитковый вихретоковый датчик, система контроля, проверка работоспособности, лабораторный стенд.*

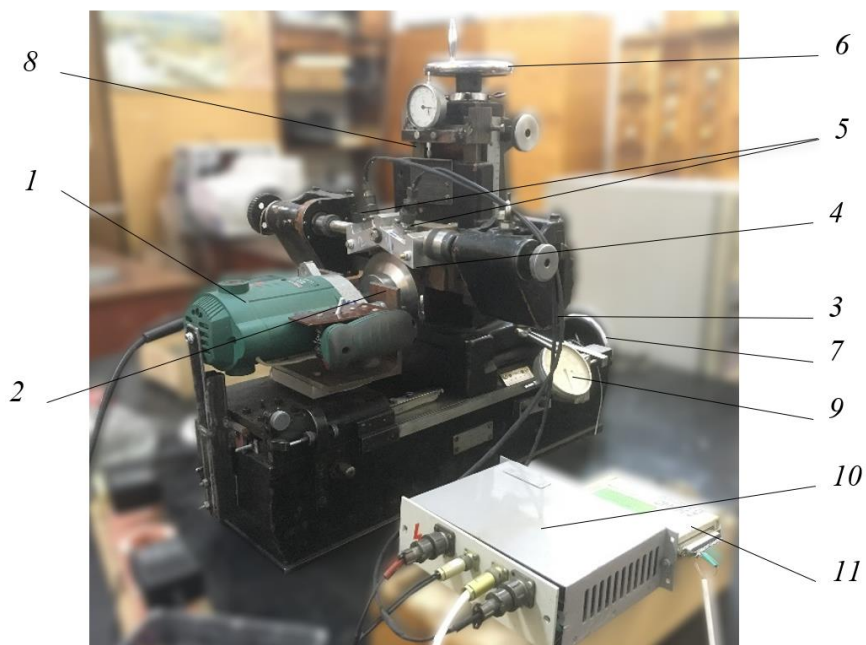
Жидкостные реактивные двигатели (ЖРД) являются основным типом силовых установок, используемых в ракетно-космической технике. Высокая стоимость и уникальность запусков предъявляют особые требования к надежности как самих ракетоносителей, так и используемых в них двигательных установок.

По признанию многих специалистов в области ракетостроения одним из самых надежных ракетных двигателей является ЖРД НК-33, разработанный еще в середине 60-х годов в конструкторском бюро академика Н.Д. Кузнецова [1]. НК-33 работает на двухкомпонентном ракетном топливе, а поэтому одним из основных узлов двигателя является турбонасосный агрегат (ТНА), который обеспечивает подачу и смешение жидких компонентов топлива. В свою очередь критически важным узлом ТНА, испытывающим значительные механические нагрузки, является радиально-упорный подшипник (РУП), который обеспечивает взаимное положение ротора турбонасоса относительно статора, воспринимает осевое давление ротора и не допускает его перемещений в направлении собственной оси. Значительные осевые нагрузки, действующие на ротор ТНА в процессе функционирования ЖРД могут привести к разрушению упорного подшипника и выходу его из строя даже несмотря на применение специальных разгрузочных устройств. Очевидно, что такое разрушение элементов ТНА может привести к катастрофическим последствиям как для двигателя, так и для ракетоносителя в целом.

В работе [2] предложено оригинальное решение задачи контроля износа РУП ТНА НК-33, основанное на замене стандартных индукционных датчиков частоты вращения ротора турбонасоса на одновитковые вихретоковые датчики (ОВТД) с чувствительными элементами в виде отрезка проводника [3]. ОВТД обеспечивают контроль осевого смещения вала в упорном подшипнике, которое характеризует состояние узла, увеличиваясь по мере его износа. При этом была сохранена функция измерения частоты вращения вала ТНА, что являлось обязательным условием со стороны разработчиков силовой установки. Структура и алгоритмы функционирования прототипа системы контроля, реализующей указанный подход, рассмотрены в [4].

Очевидным этапом, предваряющим стендовые испытания системы диагностики износа РУП ТНА в составе контрольно-измерительной аппаратуры ЖРД НК-33, является настройка и проверка работоспособности системы в лабораторных условиях. С этой целью был разработан специализированный стенд (рис. 1), содержащий электродвигатель (1) с регулируемой скоростью вращения вала, на котором, в свою очередь, закреплен измерительный диск (2), идентичный применяемому в существующей конструкции ТНА и имеющий два диаметрально противоположных выступа, используемых для контроля частоты вращения вала турбонасоса. Координатно-подвижная каретка (3) обеспечивает перемещение имитатора статора (4) с установленными на нем ОВТД (5) в вертикальном (радиальном) и горизонтальном (осевом) направлениях с помощью маховиков (6, 7) имитируя тем самым радиальные и осевые смещения измерительного диска (2). Контроль перемещений имитатора статора относительно измерительного диска осуществляется с помощью механических индикаторов часового типа (8, 9) с разрешающей способностью 10 мкм. На рис. 1 также

показан блок преобразования, усиления и нормализации сигналов ОВТД (10), а также выносной модуль АЦП E14-440 фирмы L-Card (11), используемый для ввода измерительной информации в ПЭВМ в составе прототипа системы диагностики износа РУП ТНА.



*Рисунок 1 – Лабораторный стенд для проверки работоспособности системы диагностики РУП ТНА НК-33  
1 – электродвигатель с регулируемой частотой вращения; 2 – измерительный диск; 3 – координатно-подвижная каретка; 4 – имитатор статора; 5 – ОВТД; 6-7 – маховики, обеспечивающие перемещение имитатора статора в вертикальном (6) и горизонтальном (7) направлениях; 8-9 – индикаторы часового типа для контроля перемещений имитатора статора в вертикальном (8) и горизонтальном (9) направлениях, 10 – блок преобразования, усиления и нормализации сигналов ОВТД, 11 – выносной модуль АЦП*

Необходимо отметить, что помимо динамического режима, лабораторный стенд рис. 1 может использоваться и в статике (при заблокированном положении одного из выступов измерительного диска относительно ОВТД) как градуировочное устройство, обеспечивающее получение градуировочных характеристик измерительных каналов с последующим проведением метрологических экспериментов с целью оценки точностных показателей системы. В докладе подробно рассматривается метод диагностики износа РУП ТНА на основе ОВТД, приводятся краткие технические характеристики аппаратного обеспечения прототипа системы и лабораторного стенда, а также анализируются результаты метрологических экспериментов и динамических испытаний прототипа, проведенные с его помощью.

### **Список литературы**

1. Тресвятский С.Н., Федорченко Д.Г., Данильченко В.П. Космические двигатели СНТК имени Н.Д. Кузнецова // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2006. № 2-1. С. 16-22.
2. Belosludtsev V., Borovik S., Danilchenko V., Sekisov Y. Wear Diagnostics of the Thrust Bearing of NK-33 Turbo-Pump Unit on the Basis of Single-Coil Eddy Current Sensors // Sensors. 2021. No. 21. P. 3463.
3. Borovik S., Sekisov Y Single-Coil Eddy Current Sensors and Their Application for Monitoring the Dangerous States of Gas-Turbine Engines // Sensors. 2020. No. 20. P. 2107.
4. Белослудцев В.А., Боровик С.Ю., Кутейникова М.М., Секисов Ю.Н. Структура и алгоритмы функционирования системы контроля осевых перемещений вала в радиально-упорном подшипнике турбонасосного агрегата жидкостного реактивного двигателя НК-33 // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2022. Т. 30. № 3. С. 98-110.

### **Сведения об авторах**

Белослудцев В.А., ведущий конструктор лаборатории систем сбора и обработки многомерной информации ИПУСС РАН – СамНЦ РАН. Область научных интересов: радиоэлектроника, информационно-измерительная техника.

Боровик С.Ю., доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории систем сбора и обработки многомерной информации, директор ИПУСС РАН – СамНЦ РАН. Область научных интересов: интеллектуальные систем измерения, теория и технология измерения параметров состояния объектов управления в экстремальных условиях.

Данильченко В.П., доктор технических наук, профессор, ведущий конструктор лаборатории систем сбора и обработки многомерной информации ИПУСС РАН – СамНЦ РАН, главный конструктор ПАО «ОДК-Кузнецов». Область научных интересов: перспективные авиационные и ракетные двигатели.

Кутейникова М.М., кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории систем сбора и обработки многомерной информации ИПУСС РАН – СамНЦ РАН. Область научных интересов: теория и технология измерения параметров состояния объектов управления в экстремальных условиях.

Подлипнов П.Е., научный сотрудник лаборатории систем сбора и обработки многомерной информации ИПУСС РАН – СамНЦ РАН. Область научных интересов: теория и технология измерения параметров состояния объектов управления в экстремальных условиях.

Секисов Ю.Н., доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией систем сбора и обработки многомерной информации ИПУСС РАН – СамНЦ РАН. Область научных интересов: вихрековые методы контроля, теория и технология измерения параметров состояния объектов управления в экстремальных условиях.

### **LABORATORY BENCH FOR OPERABILITY CHECK OF THE SYSTEM FOR DIAGNOSTICS OF THE THRUST BEARING OF NK-33 TURBO-PUMP UNIT**

Belosludtsev V.A.<sup>1</sup>, Borovik S.Yu.<sup>1</sup>, Danilchenko V.P.<sup>1,2</sup>, Kuteynikova M.M.<sup>1</sup>,  
Podlipnov P.E.<sup>1</sup>, Sekisov Yu.N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ICCS RAS, Samara, Russia, borovik@iccs.ru

<sup>2</sup> PJSC «UEC-Kuznetsov», Samara

*Keywords: liquid-propellant jet engine, turbo-pump unit, thrust bearing, wear, axial shaft movement, single-coil eddy current sensor, monitoring system, operability check, laboratory bench.*

The problem of early wear diagnostics of the combined journal-and-thrust bearing of the turbo-pump unit (TPU) of the liquid-propellant rocket engine NK-33 is considered. The original solution based on using the single-coil eddy current sensors (SCECS) with sensitive elements in the form of a segment of a linear conductor for the monitoring of the axial displacement of the shaft in the thrust bearing, which characterizes the TPU state, is described. The brief technical characteristics of a prototype of the system for early detection of the TPU thrust bearing's wear and the description of the laboratory bench for the operability check of the system's prototype are given. The results of metrological experiments and dynamic tests carried out with the help of the designed laboratory bench are analyzed.