

# РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ОТРАБОТКИ ПОДШИПНИКОВ И БАЛАНСИРОВКИ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ НАГНЕТАТЕЛЕЙ

*Л. М. Виноградский, А. Ю. Шаров, А. С. Шулаев*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» ИЛФИ, г. Саров Нижегородской обл.

## Введение

В лазерах на парах металлов необходимо обеспечивать циркуляцию рабочей смеси в замкнутом контуре. Для этого применяются специальные устройства – нагнетатели. Нагнетатель представляет собой рабочее колесо (РК), установленное на валу либо оси и приводится в движение с помощью электродвигателя (ЭД). Муфта и ЭД поставляются на сборку предварительно отбалансированными, и наибольший вклад в дисбаланс и вибрацию конструкции вносит РК нагнетателя. Данные явления сказываются на долговечности работы подшипников, которые изнашиваются, и вследствие этого в конструкции нагнетателей возрастают люфты и вибрации. В результате изначально установленный зазор между РК и корпусом нагнетателя будет изменяться и его придется увеличивать, чтобы не возник контакт между этими элементами. Увеличение зазора влечет за собой падение производительности из-за возросших перетеканий рабочей среды лазера из полости нагнетания в полость всасывания. Одновременно в процессе отработки нагнетателей было отмечено, что подшипники могут иметь заводские дефекты (брак) и перед сборкой их необходимо проверять на соответствие установленным стандартам [1, 2].

В связи с вышеописанным были проведены исследования и разработан стенд для проверки работоспособности подшипников и балансировки тел вращения нагнетателя.

## 1. Отработка и испытание подшипников

Принципиальная схема и общий вид разработанного стенда приведены на рис. 1 и 2 соответственно. Устройство можно условно разделить на 2 части: механическая и электронная. Механическая часть включает себя макет рабочего колеса нагнетателя 1, используемый для имитации нагрузки, действующей на подшипники, макет крепится к узлу вала 2 с установленными в него исследуемыми подшипниками. Вал приводится в движение с помощью электродвигателя 3.

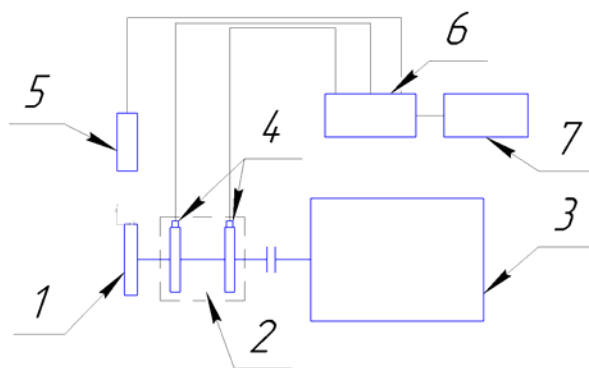


Рис. 1. Принципиальная схема стенда

Электронная часть представляет собой прибор «Балком-1». Данный прибор включает в себя: датчики вибрации (акселерометры) 4, датчик фазового угла 5, измерительный блок 6, ноутбук 7.

Сигнал с датчиков вибрации и датчика фазового угла поступает в измерительный блок, а далее в ноутбук, в котором проходит обработка информации. Подробное описание прибора приведено в [3].

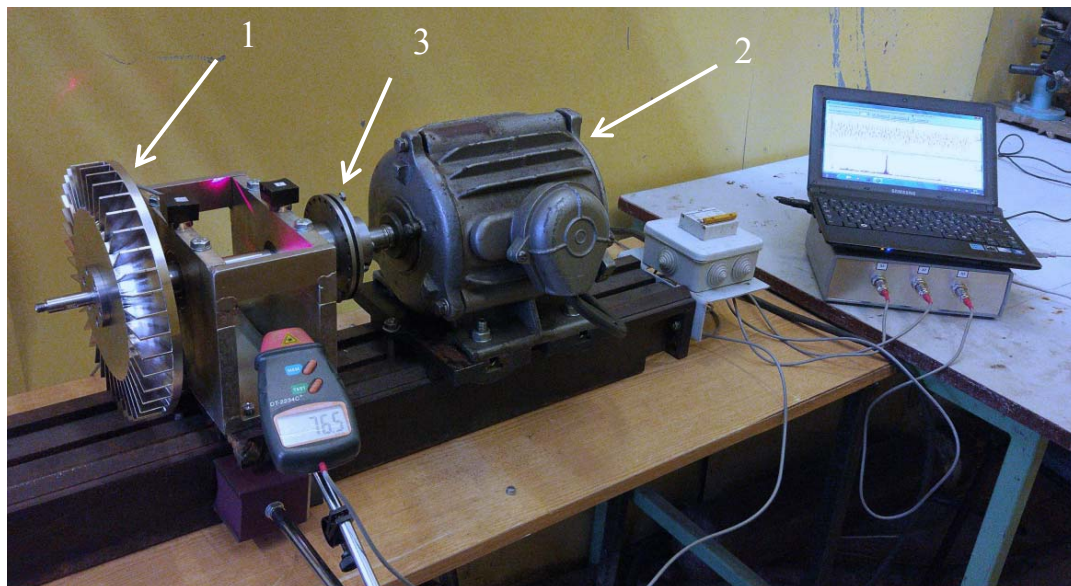


Рис. 2. Общий вид балансировочного стенда

Дефектация подшипников осуществляется путем анализа измеренных на стенде частотных характеристик. Частотная характеристика отбалансированного вала с подшипниками, соответствующими установленным стандартам [1, 2], представлена на рис. 3.

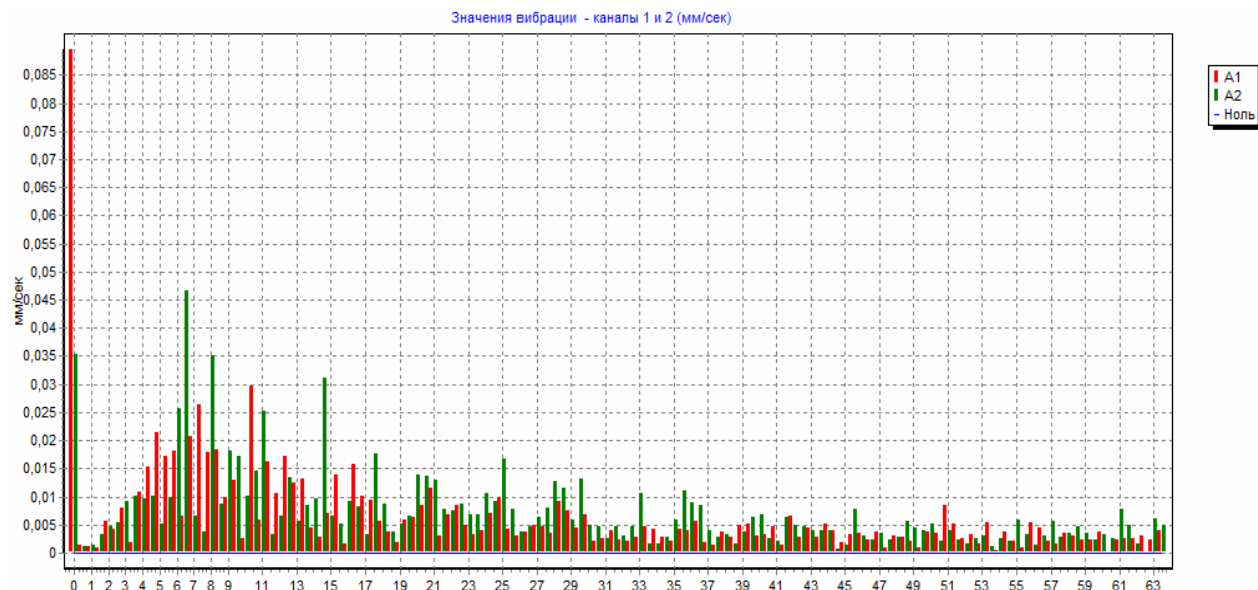


Рис. 3. Частотная характеристика отбалансированного вала с подшипниками, соответствующими установленным стандартам

При этом скорость вращения вала составляет  $\sim 1500 \text{ мин}^{-1}$ , что соответствует частоте 25 Гц. Значение вибрации (виброскорости) –  $\sim 0,015 \text{ мм/с}$ . На частотах ниже 25 Гц значения виброскоростей возрастают до значений не выше  $0,05 \text{ мм/с}$ . Это связано с частотой собственных колебаний

стенда. Данные значения виброскоростей говорят об исправности подшипников, установленных в устройство[4].

На рис. 4 изображена частотная характеристика неотбалансированного вала с исследуемыми подшипниками.

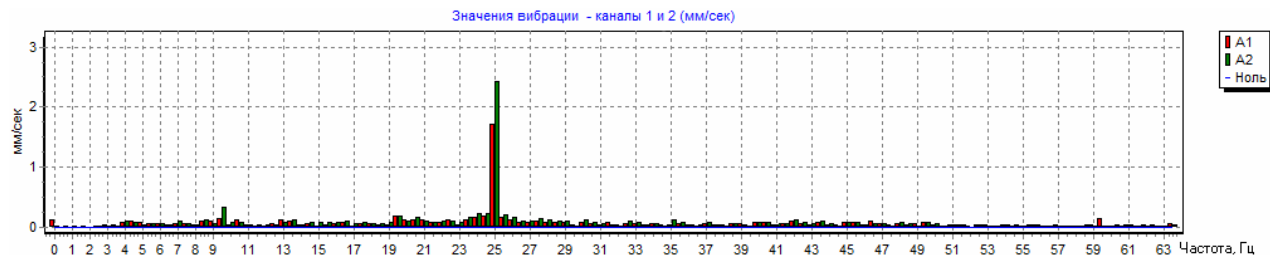


Рис. 4. Частотная характеристика неотбалансированного вала с исследуемыми подшипниками

Как видно из спектра (рис. 4) на частоте вала (25 Гц) значение виброскорости по сравнению с показанными на рис. 3 значительно больше (~2 мм/с), что связано с дисбалансом вала. Также увеличены значения виброскоростей вплоть до 0,25 мм/с на частотах менее 25 Гц, что вызвано начавшимся износом шарикоподшипника.

Помимо дефектации подшипников на стенде, возможно проводить анализ работоспособности вращающихся устройств (например, нагнетатели) при проведении экспериментов. С помощью измеренных частотных характеристик можно выявлять дефекты конструкции лазерной кюветы и их характер (разрушение подшипника, разбалансировка РК и др.) на ранних этапах возникновения неисправности.

## 2. Балансировочный стенд

С помощью описанного выше устройства также возможно проведение балансировки тел вращения нагнетателя лазерной кюветы. Общий вид стенда представлен на рис. 2. Работа стенда осуществляется в следующей последовательности. Крутящий момент от ЭД 2 передается через полумуфты 3 (рис. 5а, 5б). Полумуфта представляет собой диск, закрепленный на вал, в диске имеются отверстия для закрепления балансировочных грузов. На диске закреплена специальная резина, которая служит для компенсации несоосности между валом ЭД и балансировочным валом, а также для гашения колебаний, которые могут передаваться от ЭД.

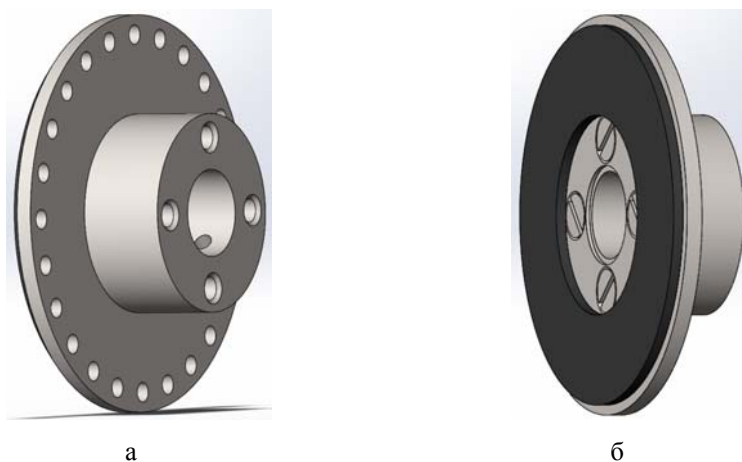


Рис. 5. Общий вид полумуфты (а, б)

Для проведения балансировки РК необходимо последовательно отбалансировать ЭД в сборе с полумуфтой, далее – балансировочный вал в сборе с полумуфтой. Данные элементы по качеству балансировки должны быть не ниже РК.

Согласно [5] балансируемое РК следует относить к классу G2,5, в состав которого входят: компрессоры; приводы с управлением от компьютера; электрические двигатели и генераторы с частотой вращения свыше  $950 \text{ мин}^{-1}$ ; газовые и паровые турбины и др.

Расчет величины допустимого остаточного дисбаланса выполняется согласно [5] с использованием следующих формул:

Формула для расчета допустимого дисбаланса:

$$U_{per} = 1000 \frac{(e_{per} \cdot \Omega) m}{\Omega}, \text{ г} \cdot \text{мм} \quad (1),$$

где  $(e_{per} \cdot \Omega)$  – показатель класса точности балансировки, мм/с;  $m$  – масса балансируемого ротора, кг;  $\Omega$  – угловая скорость вращения ротора, рад/с (это значение может быть получено из частоты вращения ротора  $n$ ,  $\text{мин}^{-1}$ , по формуле).

Для РК рассматриваемого типа нагнетателя допустимый остаточный дисбаланс составляет:

$$U_{per} = 1000 \frac{2,5 \cdot 2,89}{250} = 28,9 \text{ г} \cdot \text{мм}$$

Для ЭД в сборе:

$$U_{per} = 1000 \frac{2,5 \cdot 2,5}{150} = 42 \text{ г} \cdot \text{мм}$$

Для вала в сборе:

$$U_{per} = 1000 \frac{2,5 \cdot 1,1}{150} = 18,3 \text{ г} \cdot \text{мм}$$

Для ЭД и вала согласно [6] допускаемые значения виброскорости принимаем  $\leq 0,28$ .

Балансировку вала ЭД и балансировочного вала проводится в двух плоскостях коррекции, так как длина валов существенно больше их диаметра [7]. Для этого проводятся как минимум 4 пуска ЭД: пробный пуск, два пуска с пробным грузом на каждой плоскости коррекции и как минимум один проверочный.

Пробный пуск необходим для общей оценки величины вибрации вала. Пуски с пробным грузом необходимы для оценки влияния данного груза на изменения величины вибрации. Проверочный пуск необходим для проверки качества балансировки.

Результаты балансировки вала ЭД и балансировочного представлены в табл. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

Результаты балансировки вала ЭД

№ п/п	Момент измерений	Вибрация, мм/с			Дисбаланс, г·мм		
		Пл.1	Пл.2	Допуск	Пл.1	Пл.2	Допуск
1	До балансировки	0,15	0,16	0,28	112,3	109,1	42
2	После балансировки	0,008	0,009		10,8	5,4	

Таблица 2

Результаты балансировки балансировочного вала

№ п/п	Момент измерений	Вибрация, мм/с			Дисбаланс, г·мм		
		Пл.1	Пл.2	Допуск	Пл.1	Пл.2	Допуск
1	До балансировки	0,08	0,09	0,28	19	31	18,3
2	После балансировки	0,07	0,07		16	14	

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

- разработан стенд для дефектации подшипников и балансировки тел вращения нагнетателей;
- предложен способ оценки работоспособности тел вращения (вал, подшипники, РК и др.) в составе конструкции ЛК с использованием частотных характеристик;
- проведены балансировки вала ЭД и балансировочного вала. В результате дисбаланс ЭД изначально равный 112,3 г·мм снизился до 10,8 г·мм, а дисбаланс балансировочного вала – с 31 г·мм до 16 г·мм. Данные результаты соответствуют ранее заданным допускам 42 г·мм и 18,3 г·мм соответственно и подтверждают работоспособность стенда.

### Список литературы

1. ГОСТ 8882-75 «Подшипники шариковые радиальные однорядные с уплотнениями. Технические условия».
2. ГОСТ 520-2011 «Подшипники качения. Общие технические условия».
3. Прибор для балансировки механизмов «Балком-1». Паспорт и руководство по эксплуатации КИН 002.00.00.000 ПиРЭ. 2013 г.
4. Ширман А. Р., Соловьев А. Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. – М.: Наука, 1996. С. 276.
5. ГОСТ ИСО 1940-1-2007 «Требования к качеству балансировки».
6. ГОСТ ИСО 10816-1-97 «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерения вибрации на невращающихся частях».
7. Левит М. Е., Агафонов Ю. А., Вайнгортин Л. Д. и др. Справочник по балансировке. / Под общ. ред. М. Е. Левита. М.: Машиностроение, 1992. С. 464 с., ил.