

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ВАЛОПРОВОДА ТУРБОАГРЕГАТА

А.А. Паротькин

Д.А. Паротькин

parotkindm@gmail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

*Проанализированы методы контроля состояния валопровода турбоагрегата. Разработан собственный метод контроля состояния валопровода. Изменяемыми параметрами выбраны виброскорость и виброперемещение. Подробно описано преимущество выбранной схемы с двумя датчиками виброскорости и двумя датчиками виброперемещения. Рассчитана суммарная погрешность измерительного канала. Доказана целесообразность применения метода контроля, основанного на влиянии величины дефекта на амплитуду сигнала*

### Ключевые слова

*Валопровод, виброскорость, виброперемещение*

Поступила в редакцию 20.06.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016

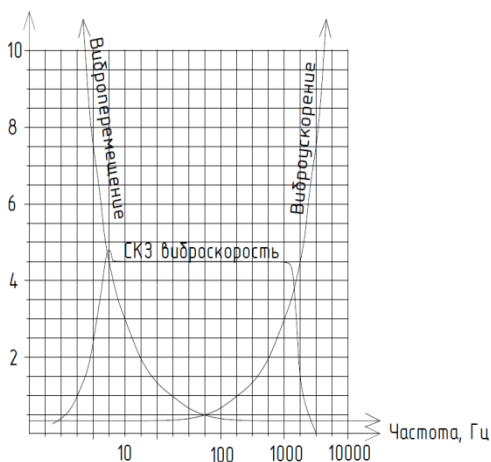
---

Обнаружение дефекта в деталях типа «вал» в начальной стадии существенно сокращает затраты на ремонт и повышает надежность работы агрегата, поэтому разработано множество методов неразрушающего контроля, позволяющих обнаруживать дефекты.

В настоящей работе проведено исследование существующих методов контроля состояния валопровода турбоагрегата. Изучены вибродиагностические и ультразвуковые методы, метод магнитной памяти металла и фазохронометрический метод. Из перечисленных методов контроля, был выбран виброакустический метод функциональной диагностики, так как его считают наиболее достоверным. Оборудование для контроля имеет невысокую стоимость и производится отечественными предприятиями.

Отметим, что вибродиагностика — это метод технической диагностики, основанный на измерении и анализе параметров вибрации объекта диагностирования. Этот метод необходим для того, чтобы следить за состоянием оборудования, не останавливая его работу и не прерывая производственный процесс. Любая вибрация — это совокупность колебаний разных частот. Если замерить и проанализировать амплитуды этих частот, то можно узнать, в каком состоянии находится оборудование. Разумеется, для сбора подобной информации нужна специальная высокочувствительная техника.

Выбор измеряемых параметров вибрации имеет важное значение и зависит от типов исследуемых механизмов, амплитудного и частотного диапазонов измеряемых колебаний.



**Рис. 1.** Частотные характеристики виброскорости, виброперемещения и виброускорения

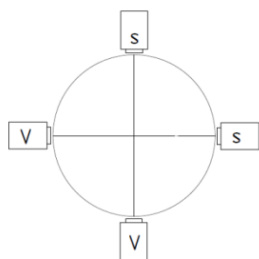
В низкочастотном диапазоне чаще измеряют параметры виброперемещения и виброскорости. Заданная частота равна 50 Гц, поэтому именно эти параметры были выбраны (рис. 1) [1]. Теперь подберем соответствующие датчики.

Вихрековые датчики предназначены для бесконтактного измерения вибрации перемещения и частоты вращения электропроводящих объектов. Для контроля параметра был выбран вихрековый датчик ДВТ10Вх компании «Эталорос», поскольку он удовлетворяет заданным характеристикам точно-

сти и производится отечественными предприятиями.

Индуктивные датчики служат для бесконтактного получения информации о перемещениях рабочих органов машин, механизмов, роботов и т. п., а также преобразования этой информации в электрический сигнал. Для контроля виброскорости выбран индуктивный датчик ММ-0002 компании Briel&Kjaer, так как он обладает достаточной точностью. Индуктивный датчик распознает и реагирует на все токопроводящие предметы, не требует механического воздействия, работает бесконтактно путем изменения электромагнитного поля.

При установке датчиков выбрана схема с двумя датчиками виброперемещения (*s*) и двумя датчиками виброскорости (*v*) для уменьшения шумов. При измерении только виброперемещения, шумы будут оказывать заметное влияние на результаты измерений, но если одновременно использовать еще и датчики виброскорости, суммарные «полезные сигналы», снимаемые с датчиков, будут значительно превышать помехи.



**Рис. 2.** Схема установки датчиков виброперемещения (*s*) и виброскорости (*v*)

Согласно ГОСТ ИСО 10817-1-2002: «Для определения общей траектории движения вала и его среднего положения во времени рекомендуется применять два датчика, расположенных под углом 90° друг к другу в одной плоскости измерений». Для того, чтобы получить достоверную и наиболее полную информацию о состоянии вала в процессе его вращения необходимо установить по два датчика виброперемещения и виброскорости (рис. 2).

**Расчет погрешностей измерительного канала.** После определения эффективности установки датчиков проведем расчеты для измерительного канала.

Измерительный канал, состоит из четырех датчиков, герметичного кабеля, двух усилителей, двух аналого-цифровых преобразователей (АЦП), коррелятора и вычислительного центра (компьютера) (рис. 3).

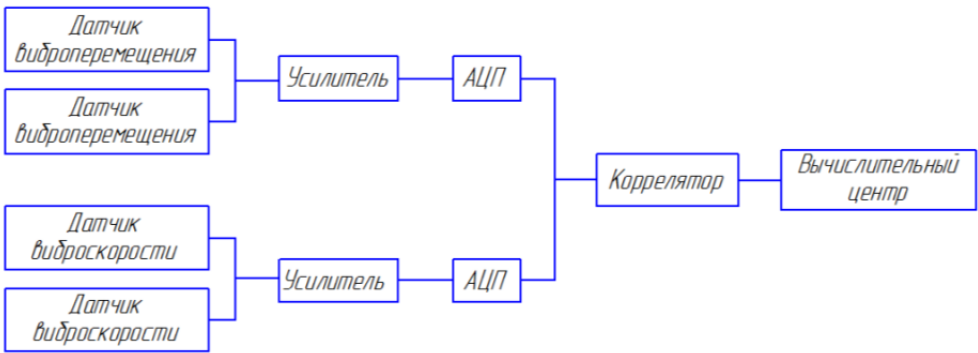


Рис. 3. Блок-схема измерительного канала

При расчете результирующей погрешности канала каждой из составляющих погрешности необходимо приписать соответствующий закон распределения, найти среднеквадратическое отклонение (СКО) и разделить погрешности на аддитивные и мультипликативные.

Установка работает от электросети 220 В через стабилизатор напряжения, при этом коэффициент стабилизации  $K = 25$ . Нестабильность напряжения питания приводит к смещению нуля:  $\varphi_{Uy} = 0,1\% / 10$  В. Влияние температуры приводит к смещению нуля усилителя:  $\varphi_{\theta y} = +0,2\% / 10$  К. Пройдя через усилитель, измерительная информация поступает в блок АЦП. Изменение температуры вызывает смещение его нуля:  $\varphi_{\theta \text{АЦП}} = -0,1\% / 10$  К. Затем с двух АЦП сигнал-информация отправляется в блок коррелятора, смещение нуля которого вследствие изменения температуры выглядит следующим образом:  $\varphi_{\theta k} = +0,1\% / 10$  К.

Датчики вместе со всей измерительной аппаратурой установлены в рабочем цехе, где температура колеблется от 18 °С до 24 °С.

Теперь определим погрешность измерительного канала:

$$\gamma(x) = 0,201 - 0,013 \frac{x}{x_k},$$

где  $x_k$  — предел измерения;  $x$  — произвольное значение. В настоящей работе представлен результат расчета погрешности измерительного канала. Более подробно с методикой расчета можно ознакомиться в [2].

**Частотный метод контроля.** Виброакустические методы диагностики возникновения трещин не обладают должной точностью, в то время как процессы деградации наблюдаются в 3–4 знаке и дальше. Отметим также, что необходимо обращать внимание на состояние самого материала. В целях диагностики возникновения и развития трещин предполагается использовать частотный метод,

т. е. пропускать через валопровод ток малых величин и фиксировать изменение частоты при наличии дефектов [3].

Таблица 1

## Расчет СКО для звеньев измерительного канала

Вид погрешности	Закон распределения	$\sigma$ , %	$k$	$\kappa$	$\varepsilon$
1. Вихретоковый датчик					
1.1. Основная погрешность	равномерный	3,26	1,730	0,745	1,8
1.2. Погрешность от температур	равномерный	2,44	1,730	0,745	1,8
1.3. Погрешность от напряжения сети	треугольный	0,1155	2,020	0,650	2,4
2. Индуктивный датчик					
2.1. Основная погрешность	равномерный	4,083	1,730	0,745	1,8
2.2. Погрешность от температур	равномерный	6,532	1,730	0,745	1,8
2.3. Погрешность от напряжения сети	треугольный	0,1155	2,020	0,650	2,4
3. Усилитель					
3.1. Погрешность коэффициента усиления при изменении напряжения питания					
3.2. Погрешность смещения нуля усилителя при колебаниях температуры	треугольный равномерный	0,0578 0,049	2,020 1,730	0,650 0,745	2,4 1,8
4. АЦП					
4.1. Основная погрешность	равномерный	0,065	1,730	0,745	1,8
4.2. Погрешность смещения нуля при колебаниях температуры	равномерный	-0,025	1,730	0,745	1,8
5. Коррелятор					
5.1. Основная погрешность	равномерный	0,069	1,730	0,745	1,8
5.2. Погрешность смещения нуля при колебаниях температуры	равномерный	0,017	1,730	0,745	1,8
Итоговая погрешность аддитивных составляющих	равномерный	9,013	1,730	0,745	1,8
Итоговая погрешность мультипликативных составляющих	треугольный	0,288	2,020	0,650	2,4



Рис. 4. Общий вид экспериментальной установки

На экспериментальной установке, состоящей из медной рамки, осциллографа и генератора (рис. 4) был проведен эксперимент по определению влияния величины дефекта на амплитуду сигнала.

В эксперименте использованы приборы фирмы Tektronix, а именно генератор и осциллограф (рис. 5).

С помощью генератора импульсов на рамку подается сигнал частотой 25 МГц и амплитудой 10 В. Данная амплитуда выбрана для минимизации потерь полезного сигнала, вызванных шумом.

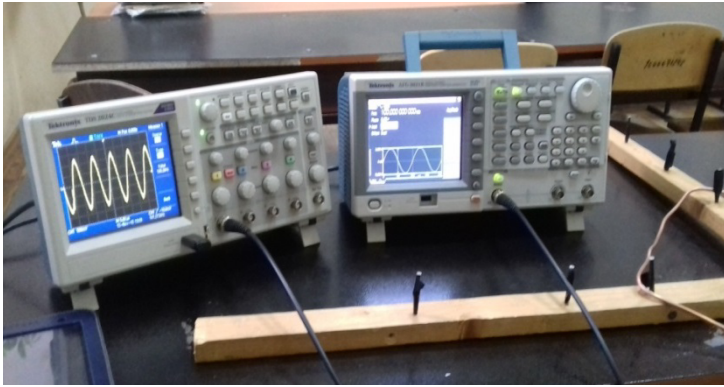


Рис. 5. Экспериментальная установка: генератор и осциллограф фирмы Tektronix

В целях исследования влияния дефекта на снимаемый сигнал проведено пять серий измерений, состоящих из семи замеров каждая. Данные получены при помощи осциллографа, который вычисляет значения 2500 точек, преобразует их в таблицу и записывает на *flash*-накопитель для дальнейшей обработки.

Первая серия проведена на первоначальной рамке, в которую не вносили дополнительные дефекты  $r = 0$ . Последующие серии замеров проводились на первоначальной рамке, в которую был внесен дефект в виде надпила порядков  $r = 0,1d$ ;  $r = 0,3d$ ;  $r = 0,5d$ ;  $r = 0,7d$ , соответственно (рис. 6).

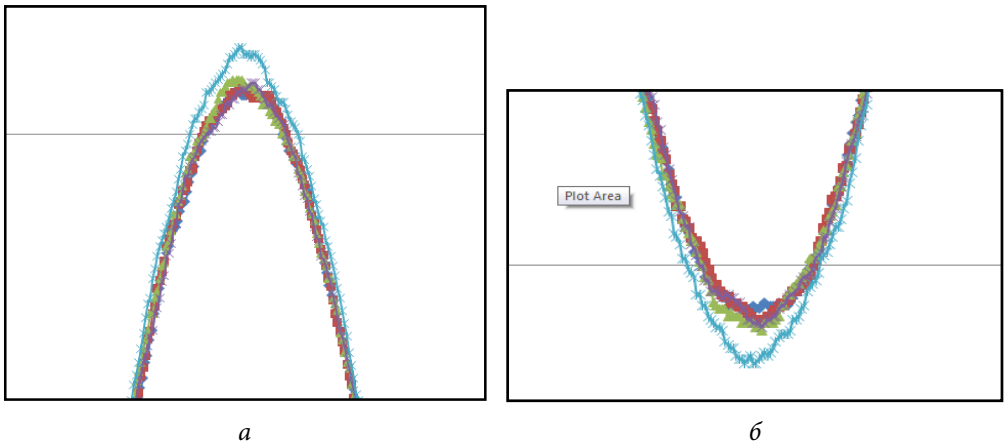


Рис. 6. Первый (а) и второй (б) пики (увеличено) при наложении сигналов: синий график —  $r = 0$ ; красный —  $r = 0,1d$ ; зеленый —  $r = 0,3d$ ; фиолетовый —  $r = 0,5d$ ; голубой —  $r = 0,7d$

При начальном состоянии  $r = 0$  (синий график), при состоянии критического запила  $r = 0,7d$  (красный график) (рис. 7). Таким образом, при увеличении дефекта амплитуда сигнала снижается. Применение данного метода представляется перспективным. Планируется на практике использовать выкладки, которые получены в ходе эксперимента. Достигнута чувствительность метода порядка 1 мм, но в дальнейшем планируется достичь большей чувствительности.

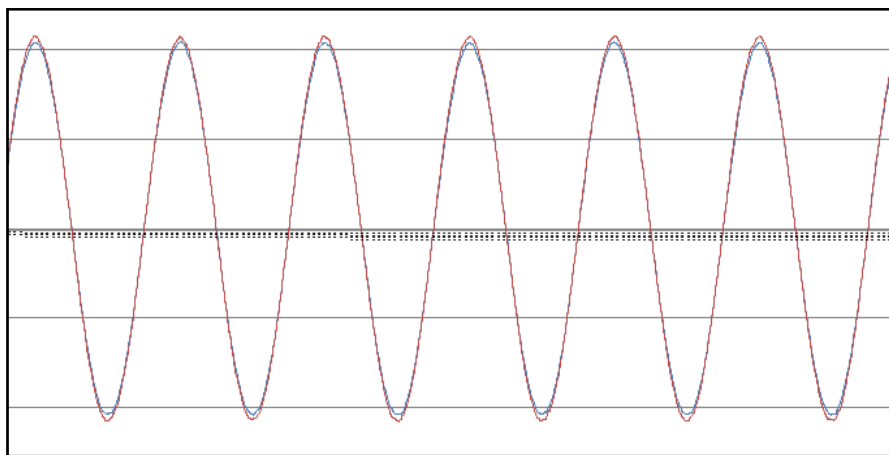


Рис. 7. Оциллограмма: надпил  $r = 0$  (синий график),  $r = 0,7d$  (красный график)

**Выводы.** Проанализированы существующие методы контроля состояния валопровода турбоагрегата. На основе результатов этого анализа разработан собственный метод контроля состояния валопровода. Измеряемыми параметрами выбраны виброскорость и виброперемещение. Подробно описано преимущество выбранной схемы с двумя датчиками виброскорости и двумя датчиками виброперемещения. Рассчитана суммарная погрешность измерительного канала. Данный метод представляется перспективным и требует дальнейшего изучения. В рамках эксперимента доказана целесообразность применения метода контроля, основанного на влиянии величины дефекта на амплитуду сигнала.

## Литература

1. Грабатьюк Ю.О. Вибродиагностика насосного агрегата xl 32-20-200 в процессе эксплуатации // Сб. Всерос. науч.-техн. конф. студентов «Студенческая весна — 2015: Машиностроительные технологии». 2015. URL: [http://studvesna.ru/db\\_files/articles/1370/article.pdf](http://studvesna.ru/db_files/articles/1370/article.pdf) (дата обращения: 14.06.2016).
2. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергомашиздат, 1991. 304 с.
3. Умманова О.В. Частотный метод регистрации образования трещин на валопроводе // Сб. Докл. Восьм. Всерос. конф. молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России». 2015. С. 140–142.

**Паротькин Андрей Александрович** — магистрант кафедры «Металлорежущие станки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Паротькин Дмитрий Александрович** — магистрант кафедры «Металлорежущие станки» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — О.В. Умманова, ассистент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

## DEVELOPMENT OF METROLOGICAL ASSURANCE SYSTEM FOR MONITORING THE TURBO UNIT SHAFTING

**A.A. Parotkin**

**D.A. Parotkin**

parotkindm@gmail.ru

**Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**

---

### Abstract

*The study analyzed the methods for monitoring the state of the turbine unit shafting. In our research we developed our own method for monitoring the state of the shafting. As the parameters measured, we opted for vibration velocity and vibration displacement. The paper describes in detail the advantage of the chosen scheme with two sensors of vibration velocity and two sensors of vibration displacement. We also calculated the total error of the measuring channel. Finally, we proved the reasonability of applying the method for monitoring, based on the impact of the defect magnitude on the signal amplitude*

### Keywords

*Shafting, vibration velocity, vibration displacement*

© Bauman Moscow State Technical University, 2016

---

### References

- [1] Grabatyuk Yu.O. [Vibration monitoring of pump unit xl 32-20-200 v in exploitation process]. *Sb. Vseros. nauch.-tekhn. konf. studentov "Studencheskaya vesna-2015": Mashinostroitel'nye tekhnologii* [Proc. Russ. student sci.-tech. conf. "Student spring-2015": Machine-building technologies]. 2015. URL: [http://studvesna.ru/db\\_files/articles/1370/article.pdf](http://studvesna.ru/db_files/articles/1370/article.pdf) (accessed 14.06.2016) (in Russ.).
- [2] Novitskiy P.V., Zograf I.A. Otsenka pogreshnostey rezul'tatov izmereniy [Measured data accuracy assessment]. Leningrad, Energomashizdat Publ., 1991. 304 p. (in Russ.).
- [3] Ummanova O.V. Chastotnyy metod registratsii obrazovaniya treshchin na valoprovode [Frequency registration method of crack formation in shaft line]. *Sb. Dokl. Vos'm. Vseros. konf. molodykh uchenykh i spetsialistov "Budushchee mashinostoeniya Rossii"* [Proc. 8<sup>th</sup> Russ. conf. of young scientists and specialists "Future of the Russian machine building"]. 2015, pp. 140-142 (in Russ.).

**Parotkin A.A.** — Master's Degree student of the Department of Metal-cutting machines and equipment, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Parotkin D.A.** — Master's Degree student of the Department of Metal-cutting machines and equipment, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — O.V. Ummanova, Assistant of the Department of Metrology and interchangeability, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.