

Эльхутов Сергей Николаевич,
к.т.н., зав. каф. ПЭ и ИИТ, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: elsn2000@outlook.com
Луценко Павел Викторович,
аспирант, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: lutsenko.pasha@gmail.com

**ПРОВЕДЕНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НАСОСОВ И
КОМПРЕССОРОВ ПОРШНЕВОГО ТИПА ПО ДАННЫМ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОСИ
ВРАЩЕНИЯ ВАЛА**

Elkhutov S.N., Lutsenko P.V.

**CARRYING OUT NON-DESTRUCTIVE TESTING OF PISTON-TYPE PUMPS AND
COMPRESSORS ACCORDING TO THE DATA OF SHAFT ROTATION AXIS
DISPLACEMENT**

Аннотация. Рассмотрена возможность проведения неразрушающего контроля насосов и компрессоров поршневого типа по данным перемещения оси вращения вала в плоскости. Построены графики данных ускорения перемещения вала по плоскостям X, Y, Z, в горизонтально-вертикальной плоскости, а также графики плотности распределения.

Ключевые слова: система неразрушающего контроля, база данных, поршневые машины.

Abstract. The possibility of carrying out non-destructive testing of piston-type pumps and compressors according to the data of the displacement of the axis of rotation of the shaft in the plane is considered. Graphs of data on the acceleration of the movement of the shaft along the X, Y, Z planes, in the horizontal-vertical plane, as well as graphs of the distribution density, are constructed.

Keywords: nondestructive testing system, database, piston machines.

В настоящее время на производстве широко распространены машины поршневого типа, среди которых повсеместно используются насосы и компрессоры. Для увеличения межремонтного интервала таких машин необходимо применение системы неразрушающего контроля, с внедрением которой предупреждается выход этих машин из строя. Существующие в настоящее время системы показывают низкую эффективность при определении технического состояния поршневых насосов и компрессоров [1,2]. Таким образом, возникает потребность разработки новых методов диагностики.

Исходя из вышесказанного, сформулирована цель исследования – нахождение возможной зависимости наличия дефектов в подшипниках от данных объемного перемещения вала.

Задачи, решаемые для достижения цели:

- создание структурной схемы системы неразрушающего контроля;
- выбор метода неразрушающего контроля;
- выбор датчиков для измерения параметров;
- разработка интерфейса базы данных.

В исследовании используются данные перемещения оси вращения вала, на основании которых выявляются дефекты. В реальных условиях расположение оси вращения вала имеет некоторое отклонение от центра [3]. Как правило, ось вращения описывает эллипс. Это отклонение от окружности, которое измеряется в микрометрах, позволяет узнать возможность распознавания некоторых зарождающихся дефектов.

Чтобы смоделировать реальные условия работы компрессора, был выбран автомобильный двигатель поршневого типа. Схема макета показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема макета

Обороты электродвигателя порядка 100 об/мин. Пониженное число оборотов выбрано для сокращения вибраций, которые могут внести в исследуемые данные помехи. В качестве прибора для измерения вибраций, которые измеряются с помощью акселерометра, собрано электронное устройство, состоящее из акселерометра ADXL 345, который подключен к микроконтроллеру ESP-32-Wroom-32. Акселерометр устанавливается в непосредственной близости от коренного подшипника. Микроконтроллер выведен кабелем из корпуса двигателя наружу с целью снижения массы устройства измерения, что уменьшает его собственные вибрации. Место крепления акселерометра показано на рисунке 2.



Рисунок 2 – Место крепления акселерометра вблизи коренного подшипника

Для исследования зарождающихся дефектов важно учитывать не только движение вала по одной плоскости, по которой движется поршень, но и двух других. Поэтому акселерометр измеряет данные в трех плоскостях – X, Y, Z.

Данные ускорения по осям X, Y, Z, полученные с акселерометра, показаны на рисунке 3.

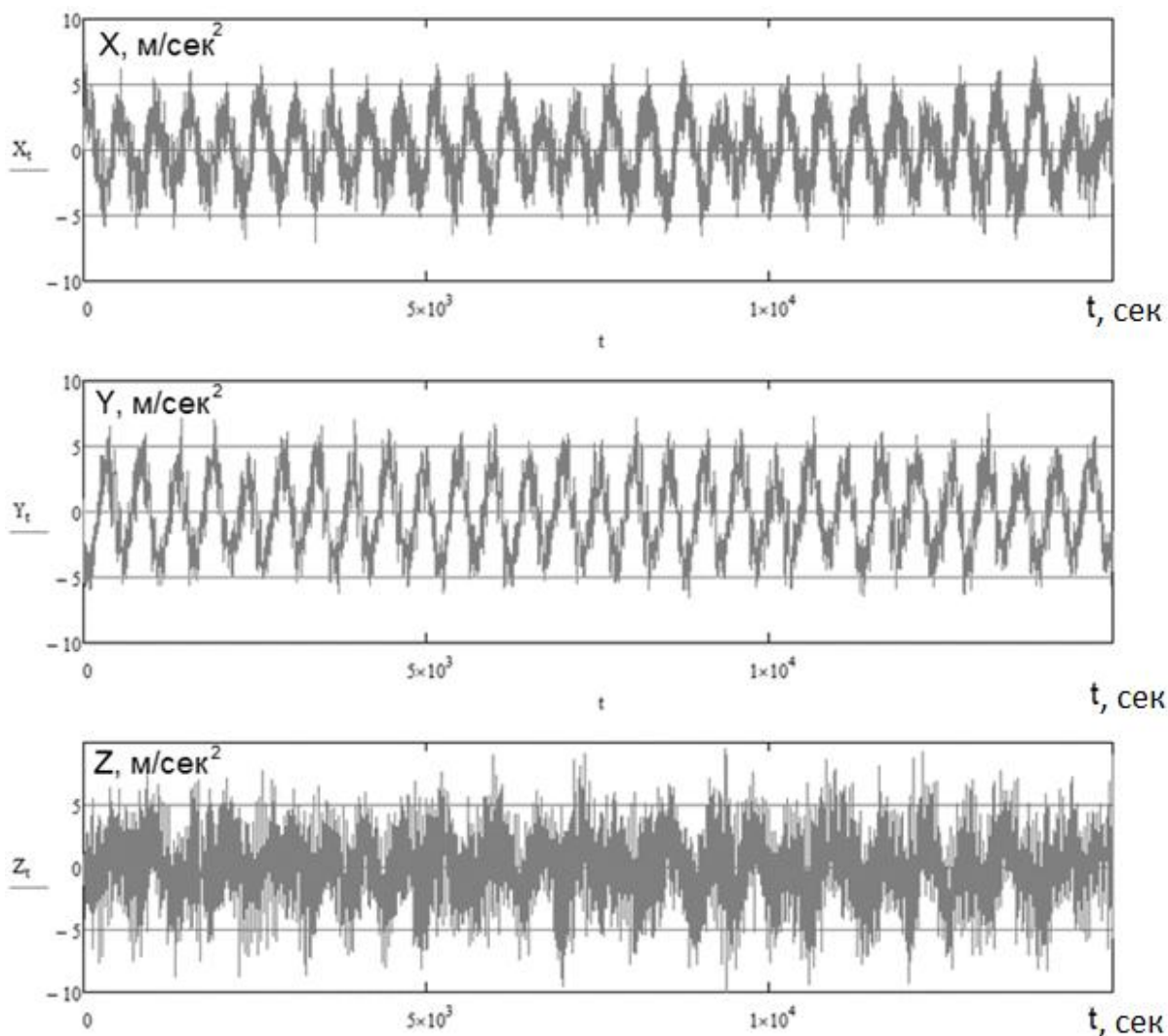


Рисунок 3 – Данные ускорения по осям X, Y, Z

На рисунке 4 показан двухосевой график, построенный по тестовым измерениям, полученным на макете с помощью акселерометра ADXL-345. Измерения получены по вертикально-горизонтальной осям, т.е. в плоскости, перпендикулярной оси вращения вала.

Важное значение имеет плотность распределения данных ускорения, которая несет информацию о перемещении оси вращения вала машины, что, в свою очередь, может характеризовать состояние подшипников вала.

Для значений, получаемых с акселерометра, создается база данных, информацию из которой можно представить в графическом виде. По графику

можно увидеть, что измерения принимают форму, отличную от окружности, что может свидетельствовать о возможном зазоре в подшипниках.

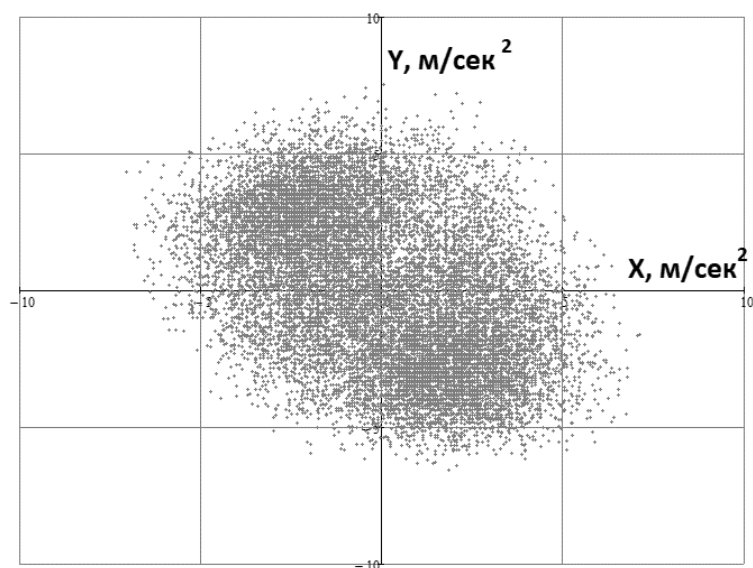


Рисунок 4 – Данные ускорения перемещения вала в горизонтально-вертикальной плоскости

Также интересен в изучении график плотности распределения данных ускорения по осям X, Y, Z (рисунок 5). График построен в программе Mathcad 15 с помощью встроенной функции `dnorm`, которая позволяет строить графики нормального распределения. Количество проведенных опытов – 16 384.

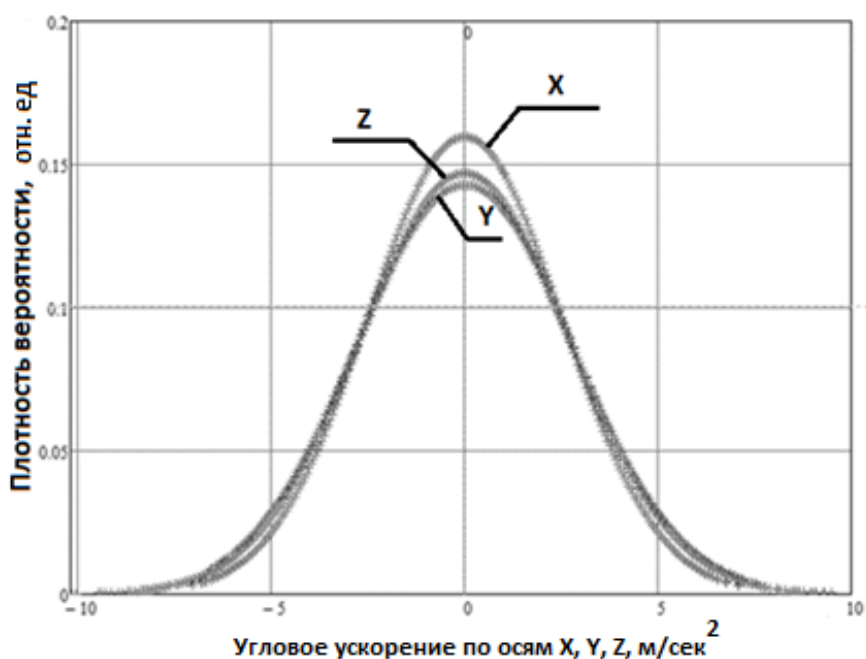


Рисунок 5 – Плотность распределения данных ускорения по осям X,Y,Z

Из графиков видно, что математическое ожидание у всех трех осей близко к 0, а дисперсия у каждой оси отличается.

Также для возможного выявления дефектов построен график данных перемещения вала в трехмерной плоскости, изображенный на рисунке 6.

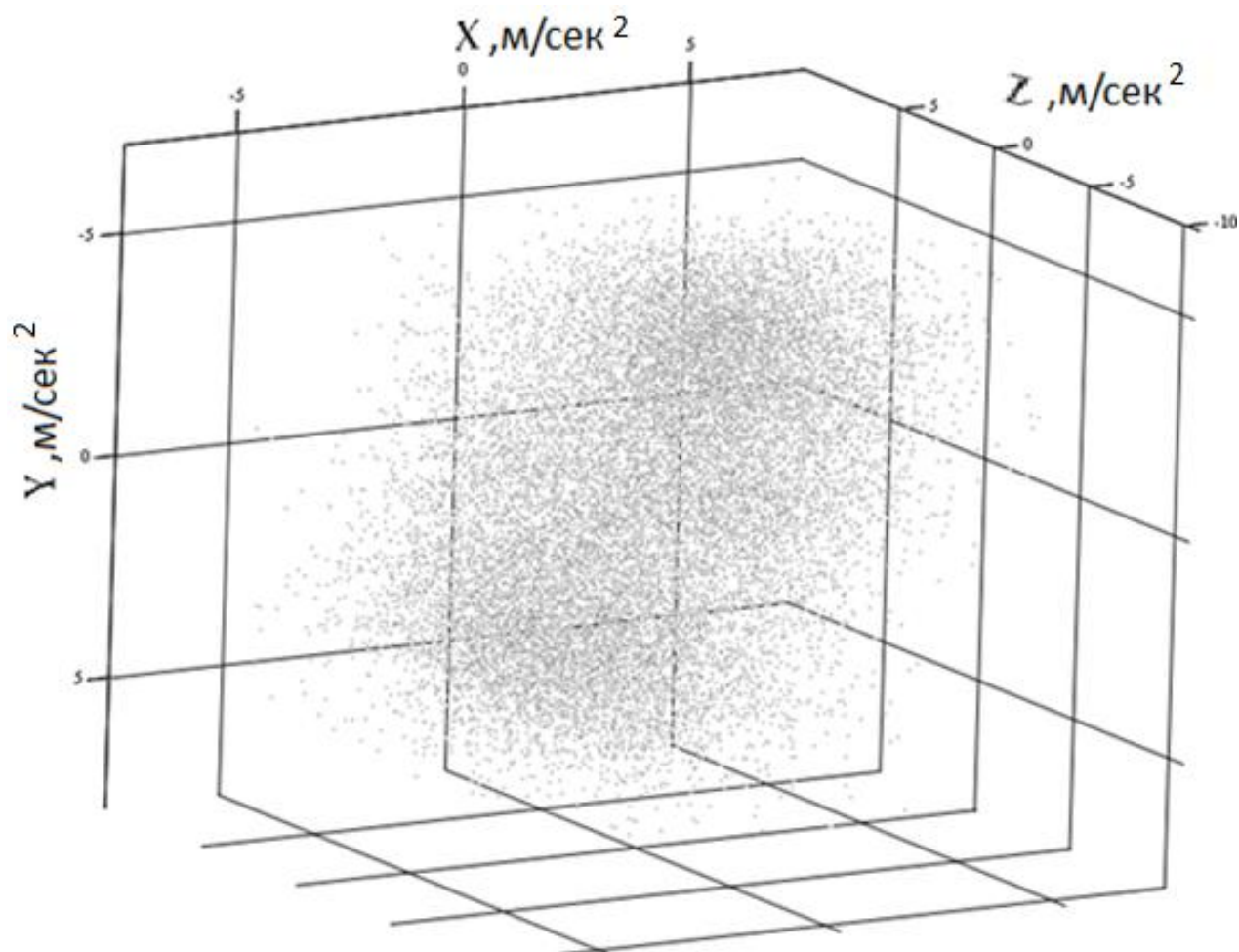


Рисунок 6 – Данные перемещения вала в трехмерной плоскости

Форма этого скопления позволяет наблюдать пространственные перемещения, а также может говорить о том, какая ось вращения вносит наибольшее отклонение от нормы.

При фильтрации исходного сигнала с помощью функции быстрого преобразования Фурье, получен отфильтрованный сигнал, показанный на рисунке 7.

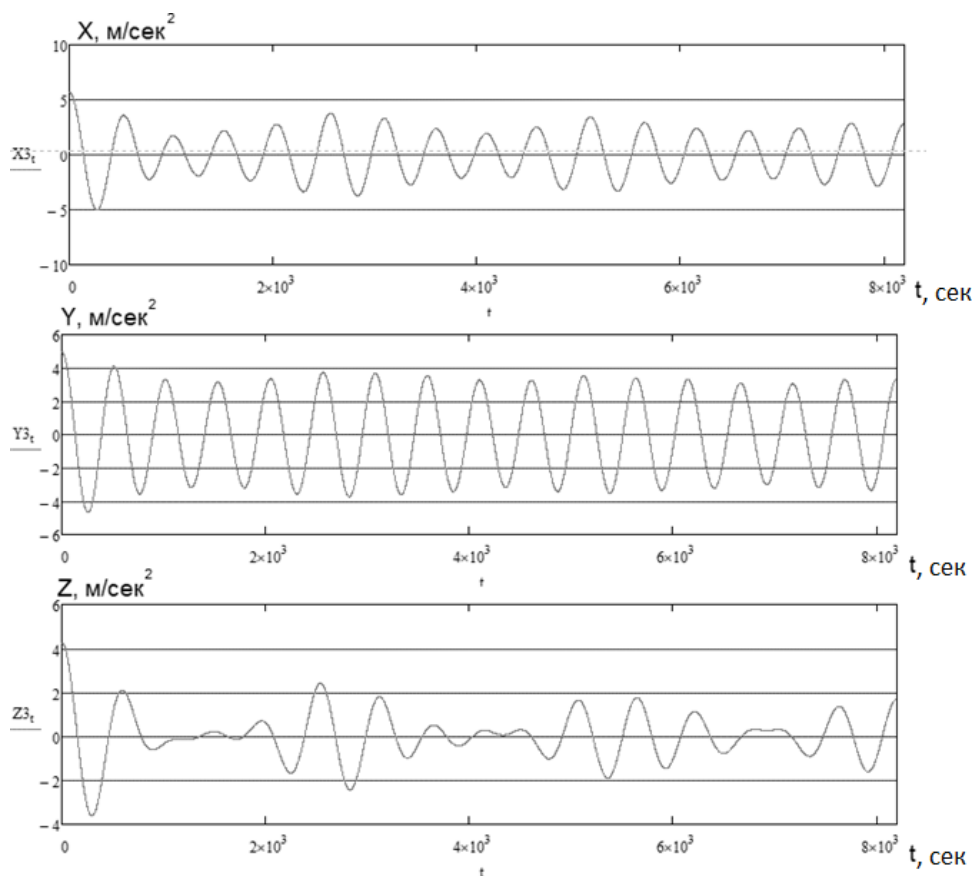


Рисунок 7 – Данные ускорения по осям X, Y, Z с применением фильтрагармоник

По полученному сигналу можно построить график данных перемещения вала в горизонтально-вертикальной плоскости. Если объединить множество точек, то получится график, имеющий линию, показанную на рисунке 8.

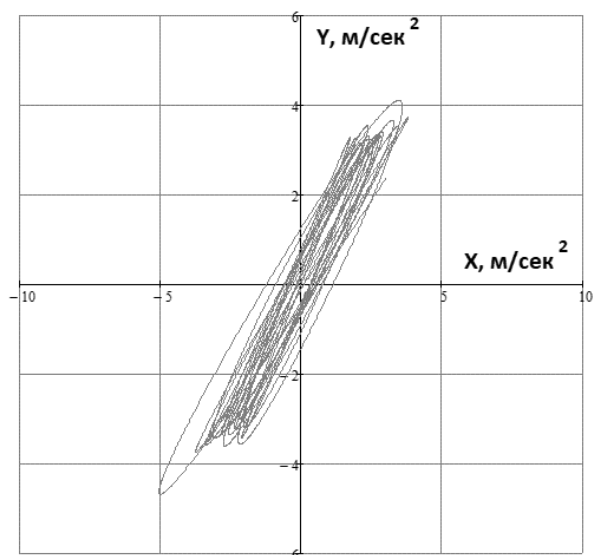


Рисунок 8 – Данные перемещения вала в горизонтально-вертикальной плоскости с применением фильтрации

Форма графика будет зависеть от того, какие гармоники остались после преобразования, а также от выбранных осей. После фильтрации, в будущем можно выявить другие зарождающиеся дефекты в поршневой машине.

После отсеивания гармоник также изменится плотность распределения, это видно на рисунке 9.

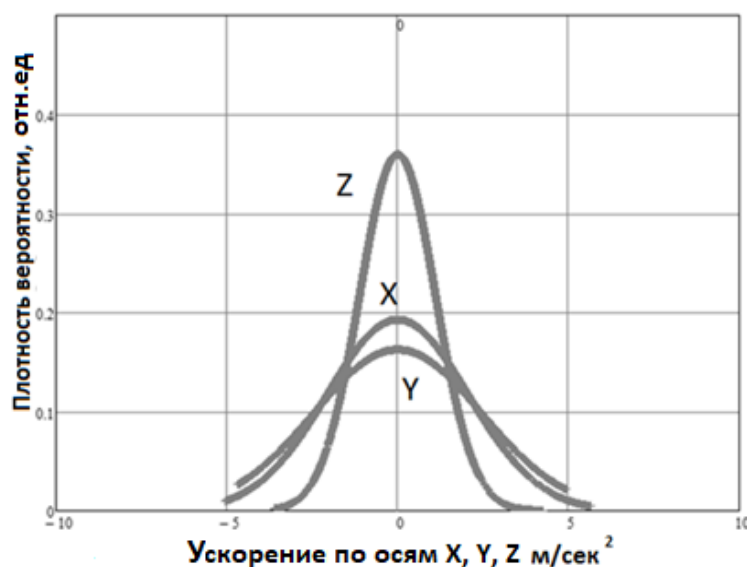


Рисунок 9 – Плотность распределения данных ускорения по осям X, Y, Z с применением фильтра гармоник

По плотности распределения по трем осям можно увидеть другие зависимости. Из графика можно узнать, не смещено ли математическое ожидание каждой оси. Если смещение присутствует, значит подшипник в поршневой машине может быть изношен. Также можно узнать, какая ось вносит наибольший вклад в изменения ускорения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Барканов, Е.Н., Думитреску, А., Паринов, И.А.** Неразрушающий контроль и ремонт трубопроводов. – Нью-Йорк: Springer International Publishing, 2018. С. 450. ISBN 978-3-319-56579-8. Текст: непосредственный.
2. **Русов, В.А.** Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам. – Пермь.: ДимРус, 2012. С. 15. ISBN 5-86983-041-9. Текст: непосредственный.
3. **Эльхутов, С.Н., Лаврик, А.А.** Метод определения технического состояния поршневых машин по результатам измерения угловой скорости вала / С.Н. Эльхутов – Текст: непосредственный. // Journal of Physics: Conference Series 1680(1),012009. – 2020. С. 6.