

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландсберг С.Е., Хованских А.А. Особенности построения информационных систем с использованием мультиагентных технологий // Вестник ВГТУ. 2014. №3-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobnosti-postroeniya-informatsionnyh-sistem-s-ispolzovaniem-multiagentnyh-tehnologiy> (дата обращения: 10.09.2023).

2. Аверьянова А.Н., Атанов В.В., Кеса М.С., Можнов Е.С. Использование интеллектуальных микросервисов в современных системах электронного документооборота // Форум молодых ученых.– 2023.– №5 (81). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-intellektualnyh-mikroservisov-v-sovremennyh-sistemah-elektronnogo-dokumenteoborota> (дата обращения: 10.09.2023).

УДК 519.234.3

*Лаврик Александр Александрович,*  
 ассистент кафедры «Промышленная электроника и наноэлектроника»,  
 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
 e-mail: gesters3@mail.ru.

*Эльхутов Сергей Николаевич,*  
 к.т.н., доцент кафедры «Промышленная электроника и наноэлектроника»,  
 ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
 e-mail: pe@angtu.ru

*Позднухов Алексей Александрович,*  
 студент кафедры «Промышленная электроника и наноэлектроника»  
 e-mail: aleksejdragunov910@gmail.com

**ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОДХОДА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
 СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ИЗМЕНЕНИЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ**

*Lavrik A.A., Elkhutov S.N., Pozdnukhov A.A.*

**APPLICATION OF AN AUTOMATED APPROACH TO CONDUCT STATISTICAL  
 ANALYSIS OF ANGULAR VELOCITY DATA**

**Аннотация.** *Проведён статистический анализ влияния дефектов на основные параметры данных угловой скорости коленчатого вала поршневой машины с помощью программы STATISTICA 12.*

**Ключевые слова:** *критерий Колмогорова-Смирнова, угловая скорость, критерий Уилкоксона.*

**Abstract.** *A statistical analysis of the influence of defects on the main parameters of the angular velocity data of the crankshaft of a piston machine was carried out using the STATISTICA 12 program.*

**Keywords:** *Kolmogorov-Smirnov test, angular velocity, Wilcoxon test.*

Одним из главных критериев правильной оценки технического состояния промышленного оборудования является статистическая обработка данных о контролируемом параметре. Выбор параметра зависит от применяемого метода оценки состояния.

В настоящее время на промышленных предприятиях, где применяются поршневые насосы и компрессоры для эффективной оценки состояния оборудования часто применяют виброакустический контроль. При использовании такого метода основным контролируемым параметром является вибрация, возникающая при работе контролируе-

мого объекта. Использование такого метода сопровождается определёнными особенностями и не позволяет в полной мере дать оценку технического состояния [1].

Альтернативой виброакустическому контролю является метод оценки технического состояния на основе контроля изменения угловой скорости вала поршневого компрессора при возникновении и развитии дефектов. Однако для определения точности оценки альтернативного метода необходимо выявить зависимость влияния дефектов на изменение основных параметров данных изменения угловой скорости.

Для этого необходимо провести исследование влияния дефектов на изменение угловой скорости реальной поршневой машины и провести статистическую обработку полученных данных для подтверждения возможности применения предлагаемого метода оценки технического состояния.

С этой целью собран лабораторный стенд на основе двигателя внутреннего сгорания. Для реализации работы двигателя в двухтактном режиме в конструкцию был внесён ряд изменений. Измерение угла поворота проводилось с помощью абсолютного магнитного энкодера с точностью 0,02 градуса.

На рисунке 1 приведен график изменения угловой скорости вала лабораторного стенда при отсутствии дефектов. На один полный оборот вала приходится 2710 измерений. В дальнейшем эти данные обрабатываются с целью получения данных об изменении угловой скорости.

На рисунке 2 представлен график изменения угловой скорости при разгерметизации впускного клапана. На графике отмечается появление дополнительных участков изменения угловой скорости в районе 180 градусов и общее смещение первоначальных участков. Полученные результаты косвенно подтверждают влияние дефекта на изменение угловой скорости, однако требуют точного подтверждения.

Целью статистического анализа представленных на графике данных будет являться определение влияния дефектов на изменение основных параметров выборок данных, соответствующих нормальному режиму работы стенда и при внесении дефекта клапанного механизма. Для этого необходимо рассчитать основные характеристики данных изменения угловой скорости.

Расчёт основных характеристик выполнялся с помощью программы STATISTICA 12. Программный пакет STATISTICA позволяет в автоматическом режиме проводить статистический анализ с построением интерактивно настраиваемых графиков.

На первом этапе анализа проверялась принадлежность нормальному закону распределения

Для этого были рассчитаны следующие величины: среднее значение, медиана, среднеквадратичное отклонение, коэффициент симметрии, ошибка симметрии, коэффици-

ент эксцесса, ошибка эксцесса, максимальное и минимальное значение в выборке угловой скорости. Результат расчёта представлен на рисунке 3.

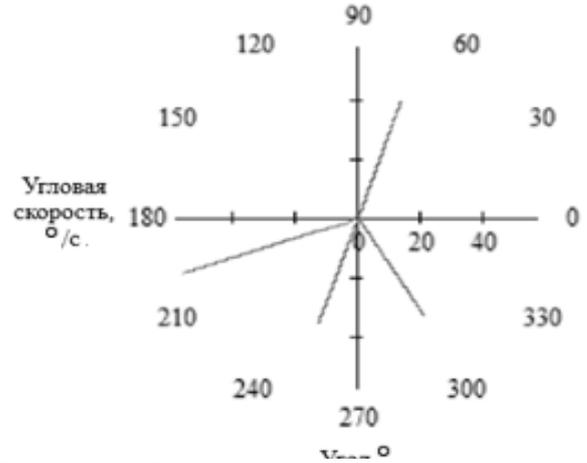


Рисунок 1 – Изменение угловой скорости вала

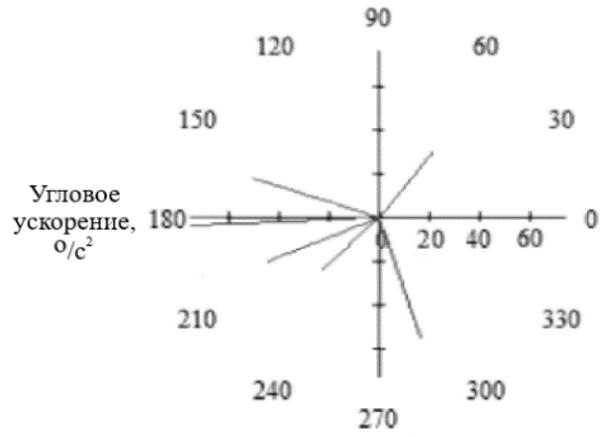


Рисунок 2 – Изменение угловой вала скорости при внедрении дефекта

Descriptive Statistics (Spreadsheet1)							
Variable	Mean	Median	Std.Dev.	Skewness	Std.Err. Skewness	Kurtosis	Std.Err. Kurtosis
клапан	0.029053	0.020000	0.029770	0.775893	0.128743	-0.396943	0.256786

Рисунок 3 – Результат расчёта основных характеристик

В результате расчёта выявлено, что среднее значение и медиана выборки отличаются, что может являться косвенным признаком ненормальности распределения, наряду с этим ошибка эксцесса превышает более чем в 3 раза сам эксцесс.

По этим данным можно предположить, что данные не подчиняются нормальному распределению, однако для точного утвер-

ждения необходимо провести дополнительную проверку.

Для проверки соответствия реального распределения переменных нормальному закону использовался критерий Колмогорова-Смирнова для одной выборки. В результате расчёта полученное значение составило 0,01. Вычисленный результат отличается от табличного значения, которое составляет 0,26 при уровне значимости 0,1. На основании этого гипотеза о принадлежности данных к нормальному закону распределения отвергается.

Для проверки результатов дополнительно проведён тест по критерию Шапиро-Уилка, расчётное значение составляет 0, что отвергает гипотезу о нормальном распределении.

Для точного определения принадлежности выборки данных к нормальному закону построена гистограмма, представленная на рисунке 4.

Для определения влияния дефекта на основные характеристики использовался критерий Уилкоксона [2]. Для выполнения статистической обработки использовались данные нормального режима работы лабораторного стенда и данные полученные при дефекте клапанного механизма, связанного с жесткостью пружины.

Из-за того, что данные угловой скорости не подчиняются нормальному закону распределения проверка данных на влияние дефекта, производится при анализе разницы между двумя выборками.

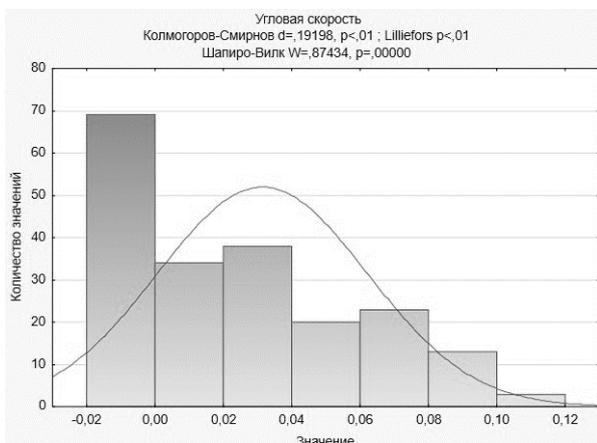


Рисунок 4 – Гистограмма для проверки принадлежности к нормальному распределению

Результат расчётов необходимо проверить на нормальность распределения с помощью проверки по критериям Колмогорова-

ва-Смирнова и Шапиро-Уилка с построением гистограммы. Результат проверки представлен на рисунке 5.

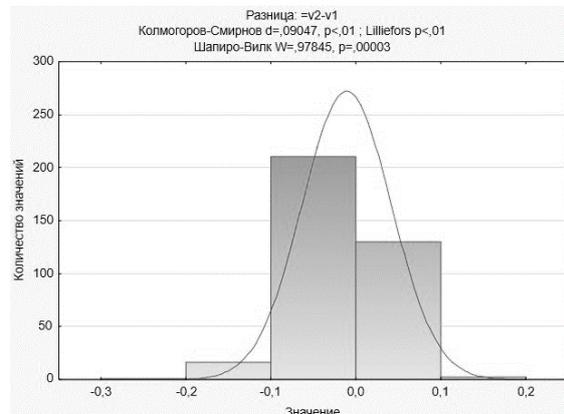


Рисунок 5 – Гистограмма для проверки принадлежности разницы значений к нормальному распределению

На основе полученной гистограммы видно, что разница между значениями двух выборок не подчиняется нормальному закону распределения. Из-за этого статистическая обработка данных должна выполняться с помощью непараметрических критериев.

Для определения влияния дефекта на изменение угловой скорости принято решение использовать непараметрический тест Уилкоксона. Суть теста состоит в том, что происходит сравнение показателей, измеренных в нескольких условиях. Использование критерия Уилкоксона позволяет установить влияние определённого события на изменение показателей. Одним из правил применения этого критерия является то, что выборка данных должна составлять не более 25 элементов. Однако полный оборот вала содержит 2710 измерений. В связи с этим необходимо преобразовать критерий Уилкоксона в z величину.

В данном случае проверяется гипотеза о том, что медиана разницы данных равняется нулю. Результат расчётов приведен на рисунке 6.

Pair of Variables	Wilcoxon Matched Pairs Test (Spreadsheet1)			
	Valid N	T	Z	p-value
Нормальный режим & клапан	2710	1071672	13,82660	0,00

Рисунок 6 – Расчёт вероятности принятия гипотезы о равенстве медиан

По результатам расчёта критерия Вилкоксона вероятность принятия гипотезы о

равенстве медиан двух выборок составляет меньше 0,05, что указывает на различие между данными.

Подтверждение полученных результатов можно наглядно увидеть при расчёте средних значений и медиан двух выборок данных. На рисунке 7 представлены результаты расчётов основных характеристик двух выборок.

Анализируя результаты расчёта основных характеристик, можно получить подтверждение расчёта гипотезы по критерию Уилкоксона. Средние значения выборок примерно равны, однако медианы отличаются на 0,02. Исходя из этого можно определить, что дефект влияет на угловую скорость вращения вала и изменяет основные характеристики выборок.

Variable	Descriptive Statistics (Spreadsheet1)					
	Valid N	Mean	Median	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Нормальный режим	2710	0,132881	0,070000	0,00	72,06000	1,707355
клапан	2710	0,131440	0,050000	0,00	86,54000	2,359692

Рисунок 7 – Расчёт средних значений и медиан двух выборок

Исходя из достигнутых результатов статистического анализа можно выделить 3 основных пункта:

- согласно тесту по критерию Колмогорова-Смирнова, данные изменения угловой скорости не подвержены нормальному распределению;

- результаты теста по критерию Шапиро-Уилка подтверждают предыдущий пункт;

- проверка медианы разницы значений угловой скорости между нормальным режимом работы и режимом дефекта клапанного механизма с применением критерия Уилкоксона показывает влияние дефекта на изменение медианного значения выборки, что в свою очередь является искомым признаком.

Применение статистического анализа данных, полученных с помощью метода оценки технического состояния на основе контроля изменения угловой скорости вала поршневых машин, позволило получить подтверждение того, что возникновение и развитие дефекта влияет на изменение основных характеристик угловой скорости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эльхутов, С. Н., Лаврик, А. А. Метод определения технического состояния поршневых машин по результатам измерения угловой скорости вала / А. А. Лаврик, С. Н. Эльхутов. // Сборник статей VIII Всероссийской научно-практической конференции. –

Пенза : Наука и Просвещение , 2020. – С. 86-91.

2. Боровиков, В. П. Популярное введение в современный анализ данных и машинное обучение на STATISTICA. – М. : Горячая линия - Телеком, 2023. – 354 с.