

УДК 681.58

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Красовская Татьяна Владимировна**, магистрант, направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: krassovskaya@icloud.com

Научный руководитель: **Морозов Николай Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики материалов, конструкций и машин, Оренбургский государственный университет, Оренбург  
e-mail: moroz.off.nick@yandex.ru

**Аннотация.** Данная работа посвящена вибродиагностике зубчатых передач. Выявлены основные неисправности зубчатых передач, появляющиеся в процессе эксплуатации. Описаны применяемые методы вибродиагностики, экспериментальная установка и оборудование. Выявлены изменения в вибрационных параметрах, позволяющие диагностировать появление дефекта в деталях зубчатой передачи.

Так как одним из методов неразрушающего контроля является вибродиагностика, использование данного метода на производстве поможет увеличить срок службы механизма и обеспечить безопасность технологического процесса без демонтажа и без вывода из эксплуатации. Благодаря постоянному или периодическому мониторингу при помощи вибродиагностики оператор сможет определить критичность состояния механизма и дать заключение о максимальной или минимальной возможности работы станка. По этой причине, исследования, связанные с использованием вибродиагностики зубчатых передач, являются актуальными.

**Ключевые слова:** вибродиагностика, зубчатые передачи, вибрация, спектр.

**Для цитирования:** Красовская Т. В. Использование вибродиагностики зубчатых передач для обеспечения безопасности технологических процессов // Шаг в науку. – 2022. – № 3. – С. 28–31.

## USING VIBRATION DIAGNOSTICS OF GEARS TO ENSURE THE SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

**Krassovskaya Tatiana Vladimirovna**, postgraduate student, training program 20.04.01 Technosphere safety, Orenburg State University, Orenburg  
e-mail: krassovskaya@icloud.com

Research advisor: **Morozov Nikolay Anatolyevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanics of Materials, Structures and Machines, Orenburg State University, Orenburg

**Abstract.** This work is devoted to vibration diagnostics of gears. The main malfunctions of gears that appear during operation have been identified. The applied methods of vibration diagnostics, experimental setup and equipment are described. Changes in vibration parameters have been revealed, which make it possible to diagnose the appearance of a defect in gear transmission parts.

Since one of the methods of non-destructive testing is vibration diagnostics, the use of this method in production will help to increase the service life of the mechanism and ensure the safety of the technological process without dismantling and without decommissioning. Thanks to constant or periodic monitoring with the help of vibration diagnostics, the operator will be able to determine the criticality of the state of the mechanism and give a conclusion about the maximum or minimum possibility of machine operation. For this reason, studies related to the use of vibration diagnostics of gears are relevant.

**Key words:** vibration diagnostics, gears, vibration, spectrum.

**Cite as:** Krassovskaya, T. V. (2022) [Using vibration diagnostics of gears to ensure the safety of technological processes]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 3, pp. 28–31.

Ни для кого не секрет, что сложные механизмы ременного технического обслуживания. Однако и конструкции требуют соответствующего своеоб- в некоторых ситуациях карта технического обслу-



живания, рассчитанная диагностами, опускает специфику работы конкретного механизма в конкретных условиях. Некоторые компоненты и детали изнашиваются гораздо быстрее и требуют проведения технического обслуживания раньше, чем описано в правилах технического обслуживания. Эту проблему можно решить с помощью своевременной диагностики [1].

Вибродиагностика – это метод диагностики систем, узлов, агрегатов и устройств, основанный на анализе параметров вибрации, возникающих в объекте в процессе его эксплуатации. Вибродиагностика является одним из методов неразрушающего контроля. Анализ вибраций позволяет получить функциональные зависимости параметров вибрации от времени, частот, координат в пространстве.

Известно несколько основных методов вибродиагностики, применяющиеся для исследования зубчатых передач, которые были рассмотрены как с точки зрения технологии организации, так и исходя из затрат на проведение [1]: метод ПИК-фактора, метод эксцесса, метод ударных импульсов, метод прямого спектра, метод огибающей высокочастотной вибрации.

Значительная частота отказов изделий машиностроения в начальный период эксплуатации в основном обусловлена проявлением скрытых производственных дефектов [7].

Известно, что зубчатые колеса обладают рядом преимуществ по сравнению с другими передачами: адаптивность, стабильность передаточного числа, высокая нагрузочная способность, высокий КПД,

компактность, надежность в эксплуатации, простота обслуживания, относительно небольшая нагрузка на валы и опоры. Наиболее распространенные причины повышенной вибрации, а также неисправности, возникающие в зубчатых передачах [2]:

- дефекты изготовления и сборки, дефекты, которые появляются в процессе эксплуатации и нарушают кинематику механизма;
- ошибки при изготовлении зубчатых колес, постоянные и переменные ошибки в шаге и профиле зубьев, ошибки в направлении зубьев;
- ошибки монтажа, дисбаланс, биение вала, биение зубчатого колеса, отклонение от центровки вала, увеличение или уменьшение бокового зазора в зацеплении, неравномерность осей, нарушение условий смазки.

На сегодняшний день в вибродиагностических приборах используется цифровой метод обработки информации, который позволяет получить результат измерения за короткое время. После общего анализа неисправностей можно выявить наиболее часто проявляющийся дефект, сделать прогноз неисправностей, предотвратить возникающие неисправности [3, 4].

Была создана экспериментальная установка для вибродиагностики зубчатых колес [5]. Основными элементами являются: трансформатор с индикатором, показывающим рабочее напряжение, и винт для его регулировки; токопроводящие провода от трансформатора к электродвигателю; редуктор с зубчатыми колесами, шестернями и валами, а также виброанализатор Вибран-3.0.

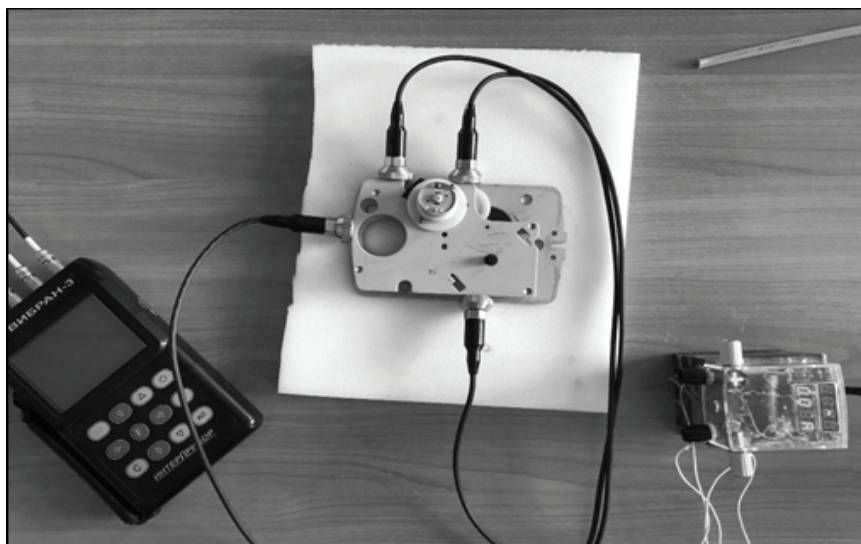


Рисунок 1. Общий вид установки  
Источник: разработано автором

Кинематическая схема редуктора представлена на рисунке 2. Из схемы видно, что вращение от электродвигателя передается на зубчатое колесо

4 вала  $f_3$  через колесо 2 и шестерни 1 и 3, закрепленные на валах  $f_1$  и  $f_2$ .

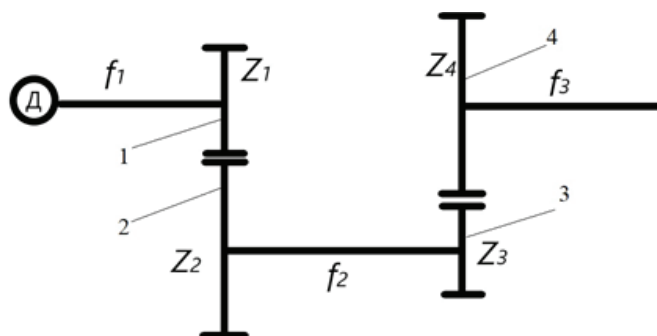


Рисунок 2. Кинематическая схема редуктора  
 Источник: разработано автором

Наиболее часто встречающимися дефектами зубчатых передач являются износ и поломка зубьев колес и шестерен. К тому же поломка зубьев может привести не только к выходу из строя зубчатых передач, но и других элементов оборудова-

ния (заклинивание подшипников и др.) [6]. В связи с этим были проведены испытания редуктора, шестерня которого имела износ, а также редуктора, на шестерне которого отсутствовал один зуб. Данные шестерни представлены на рисунке 3.



а - шестерня без дефекта; б - шестерни с дефектом (один зуб);  
 в - шестерня с дефектом (три зуба)

Рисунок 3. Виды шестерней с дефектом и без дефекта  
 Источник: разработано автором

Для проверки корректности экспериментальных исследований были определены частоты вальных и зубцовых составляющих (таблица 1) [5].

Таблица 1. Вальные частоты и частоты пересопряжения зубьев

	Редуктор без дефекта	Редуктор с дефектом (один зуб)	Редуктор с дефектом (три зуба)
$f_3$	3,504762 Гц	3,72381 Гц	3,833333 Гц
$f_2$	19, 52653 Гц	20,74694 Гц	21,35714 Гц
$f_1$	113,2539 Гц	120,3322 Гц	123,8714 Гц
$f_3 \cdot Z_4$	273,3714 Гц	290,4571 Гц	299,8914 Гц
$2f_3 \cdot Z_4$	546,7429 Гц	580,9143 Гц	598,5646 Гц

Источник: разработано автором

С помощью крепящихся на редукторе датчиков и вибрoанализатора Вибран-3.0 была получена информация о вибрациях редуктора. Затем эти данные

переносились на ЭВМ, и с помощью специализированного обеспечения строились спектральные графики, вариант графика представлен на рисунке 4.

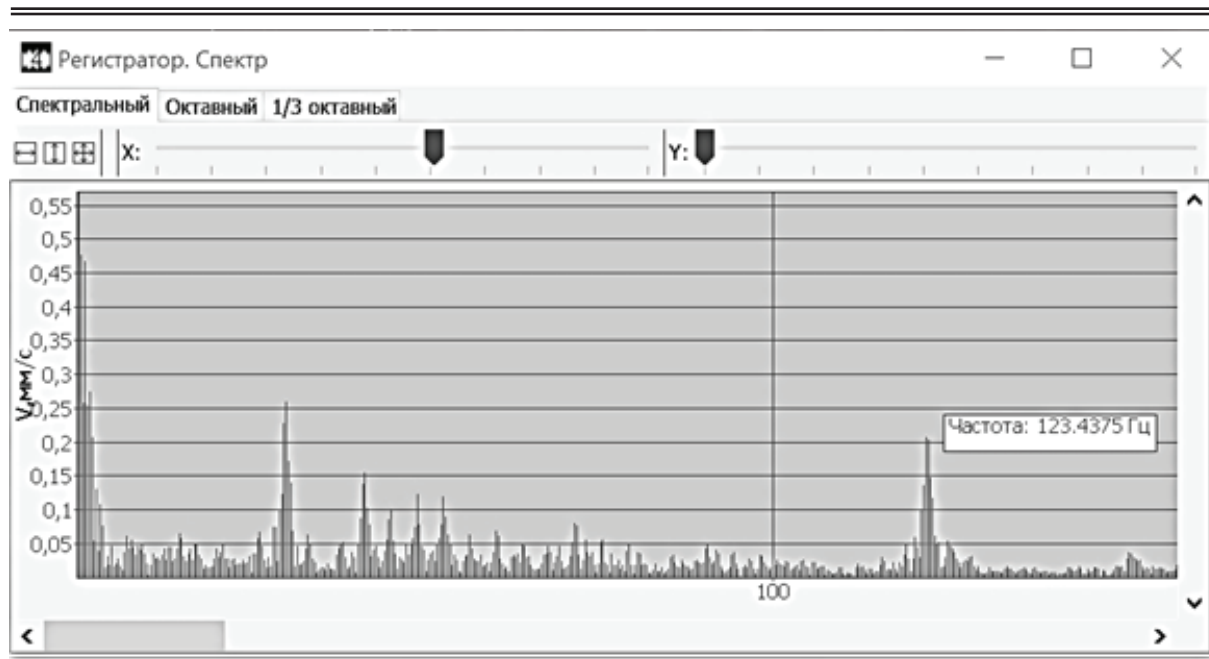


Рисунок 4. Спектральный график работы редуктора с дефектом (0 – 180 Гц)

Источник: разработано автором

На спектральных графиках вибраций редукторов с дефектами шестерен рядом с зубцовой составляющей сигнала появляются боковые составляющие. Отсутствие зуба шестеренки или износ ее зубьев влечет за собой потерю взаимодействия между зубьями в зацеплении, что и приводит к образованию удара. Причем при отсутствии зуба величина удара выше, что отражается на величине

амплитуды боковых составляющих.

Таким образом, по величине амплитуды боковых составляющих около частоты пересопрежения зубьев можно сделать вывод о величине износа или потере зуба в передаче, что позволит принять решение насколько критичен имеющийся дефект для дальнейшего процесса работы редуктора.

#### Литература

1. Асриян Г. М. Возможности диагностирования вибрации сложных динамических систем // Колебания редукторных систем. – М.: Наука, 1980. – С. 70–74.
2. Баглай А. В., Кипин М. М., Дубина М. А. Вибрационная диагностика редуктора широкополосного прокатного стана 1680 // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2019. – № 1. – С. 53–58. <https://doi.org/10.15407/tdnk2019.01.07>.
3. Булыгин Ф. В., Прилепко М. Ю. Вибрационный контроль и диагностика машинного оборудования: от теории до подготовки кадров // Компетентность. – 2018. – № 9–10 (160–161). – С. 10–15.
4. Интеллектуальные системы вибродиагностики АО «НИИФИ» / А.И. Белозерцев, [и др.] // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 4(24). – С. 86–89. <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2018-4-9>.
5. Красовская Т. В., Морозов Н. А. Использование метода вибродиагностики зубчатых передач для обеспечения безопасности технологических процессов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием), Оренбург, 25–27 января 2021 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. – С. 632–635.
6. Павлов Б. В. Акустическая диагностика механизмов. – М.: Машиностроение, 1971. – 223 с.
7. Система вибродиагностики для оборудования прокатного производства / А. В. Баглай [и др.] // Черные металлы. – 2020. – № 2 (1058). – С. 62–69.

Статья поступила в редакцию: 23.05.2022; принята в печать: 25.08.2022.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.