

УДК 622.24.051.553

АНАЛИЗ ГРУППОВЫХ СВОЙСТВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РОЛИКОВ В ОПОРАХ БЕССЕПАРАТОРНОГО ТИПА СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

© 2010 А. Н. Журавлев

Самарский государственный технический университет

Рассмотрен статистический эксперимент реализаций профилей роликовых дорожек опоры бурового горнорудного трёхшарошечного долота, прошедших стендовые испытания, и проведена обработка статистических данных с использованием гармонического и корреляционного анализа.

Роликовая опора, буровое долото, деформационный след, корреляционный анализ, гармоническая функция.

Исследование процесса взаимодействия деталей роликовых опор содержит формирование подцелей, которые включают разработку множества допустимых вариантов сборочных процессов, их предварительную оценку и выбор наилучшего варианта. Основным условием такого исследования является ограниченное число вариантов, включающих комбинаторику структурной составляющей комплектов роликов m , прошедших селективный отбор по размерным параметрам. Комбинаторика в случае сборки многорядных роликовых опор представляет множество альтернатив парных взаимодействий роликов в комплекте [1].

При всём различии конструкций многорядных роликовых опор они включают общие технологические и эксплуатационные признаки, обеспечивающие автономию разработки технологии сборки, формируя задачу декомпозиции изделий. На рис. 1 представлена многорядная роликовая опора бурового долота, характеризующаяся наличием двух контуров: внутреннего (A_1, A_2, B) и взаимосвязанного (B).

Представление в контурном виде (рис. 1) процессов взаимодействия деталей роликовых опор определяется тем, что в процессе сборки реализуется постоянство отсчётной системы координат, а направленность контура указывает на вектор взаимодействия. Так, внутренний контур образуется при комплектовании роликов и установке комплекта на роликовую дорожку, что отражает последовательность сборочной операции комплектования роликов. Координатой отсчёта служит первый ролик в комплекте внутреннего контура $A_{1,2}$, а вектор, указывающий направление комплектования, связан с угловыми разворотами комплектов роликов относительно своего ряда A_1 и A_2 . Этому же признаку постоянства отсчёта и направленности вектора взаимодействия соответствует и выделенный взаимосвязанный контур B , который задаёт свойство роликовых опор при функционировании изделия. Показатели качества сборки каждого контура задаются набором геометрических параметров, составляющих структуру многорядных роликовых опор и обладающих свойствами

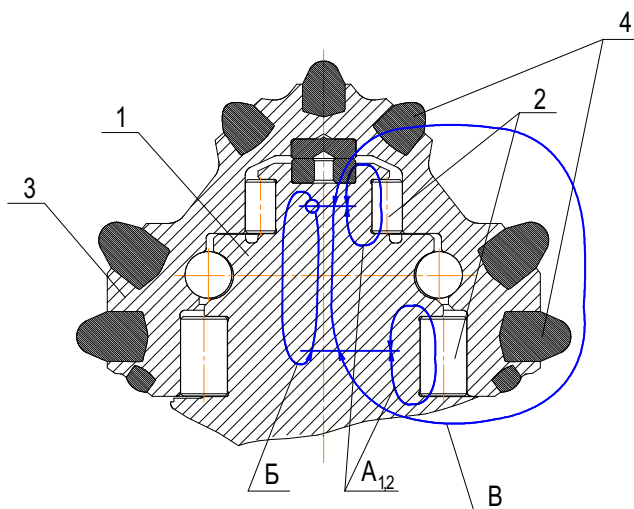


Рис. 1. Схема взаимосвязанных контуров взаимодействия деталей роликовой опоры бурового долота: 1 – цапфа лапы; 2 – большие и малые ролики соответственно; 3 – шарошка; 4 – рабочие зубки

однозначности. Элементы контура, в которые входят детали и сборочные компоненты соединений, жёстко объединены общими процессами взаимодействия и условиями размещения их в изделии. Выделение общих контуров в задаче декомпозиции позволяет согласовать существенные связи подвижных деталей роликовых опор с ограничениями и частными критериями структурно упорядоченной сборки изделий.

Анализ групповых свойств, учитывающих взаимодействия роликов с роликовыми дорожками взаимосвязанного контура роликовых опор, выполним методом статистической динамики. С помощью этого метода выполняется анализ степени статистической взаимосвязи между роликами и роликовой дорожкой с учётом циклов внешней нагрузки на опору.

Взаимосвязанный контур Б (рис. 1) характеризуется наличием зависимых циклов каждой пары роликов 2 по отношению к рабочим зубкам 4. Эта степень зависимости оценивается по исследованию деформационного следа на роликовой дорожке подвижной детали 3.

Расчёты выполнялись с использованием статистических программных продуктов Mathcad и Excel. Информационным носителем технологической информации



Рис. 2. Общий вид измерительной установки

является деформационный след, оставленный роликами на роликовой дорожке в процессе эксплуатации изделия. С целью установления влияния структурной составляющей сборки m на эксплуатационные параметры использовались гармонический и корреляционный анализы рельефов роликовых дорожек шарошки, выработавшей свой ресурс в условиях стендовых испытаний.

Для измерения деформационного следа большой (БРД) и малой (МРД) роликовых дорожек, а также для измерения износа режущих зубков применяется измерительная установка, представленная на рис. 2.

Установка состоит из стола, подвижного измерительного блока, сменного щупа с рубиновым наконечником и персонального компьютера со специальным программным обеспечением. На рис. 3а и 3б



а



б

Рис. 3. Измерение параметров шарошки, выработавшей свой ресурс:
а – измерение деформационного следа;
б – измерение износа зубков

показано измерение деформационного следа, оставленного роликами на беговых дорожках, а также износа режущих зубков с применением рубинового наконечника диаметром 2 мм.

Дискретность измерения обеспечивалась по разметке с угловым шагом в $11,2^\circ$, что обеспечивало объём выборки в количестве 32 измерений. Каждый дискретный отсчёт повторялся три раза, чтобы уменьшить влияние неконтролируемых факторов при измерении. В качестве начала системы отсчёта была выбрана точка на торце контролируемой детали, совпадающая с координатой зубка, имеющего максимальную величину износа. При измерении обеспечивалось постоянство вектора направления отсчёта, который выполнялся в положительном направлении, т.е. против часовой стрелки.

Автокорреляционная функция деформационного следа выражалась через гармонический анализ, который заключается в разложении периодических функций в сходящийся ряд Фурье [2]. Практическое проведение гармонического анализа связано с вычислением коэффициентов Фурье. Аппроксимация динамики явлений рядом Фурье состоит в выборе таких гармонических колебаний, наложение которых друг на друга (сумма) отражало бы периодические колебания фактических уровней временного ряда. С помощью ряда Фурье можно представить динамику явлений в виде некоторой функции времени, в которой слагаемые расположены по убыванию периодов:

$$\hat{y}_i = a_0 + \sum (a_k \cos kt + b_k \sin kt). \quad (1)$$

В уравнении (1) величина k определяет гармонику ряда Фурье и равна 32. Параметры уравнения определяются на основе метода наименьших квадратов и вычисляются по следующим зависимостям:

$$a_0 = \frac{Y_{d0}}{N}; \quad (2)$$

$$a_k = \frac{Y_{dk}}{N}; \quad (3)$$

$$t_n = \frac{2\pi n}{N}. \quad (4)$$

Графическое представление аппроксимирующей кривой деформационного следа БРД и МРД показано на рис. 4 и 5, соответственно.

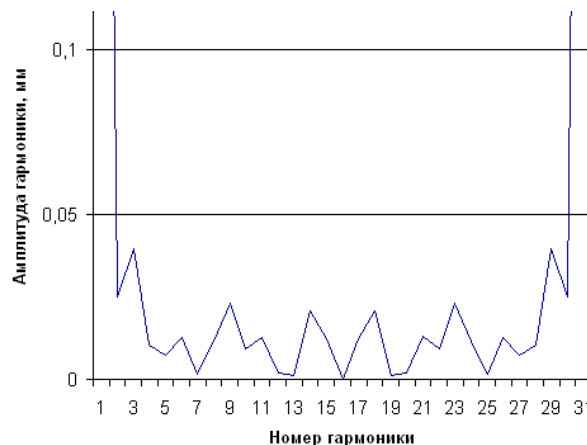


Рис. 4. Гармоническая функция деформационного следа БРД

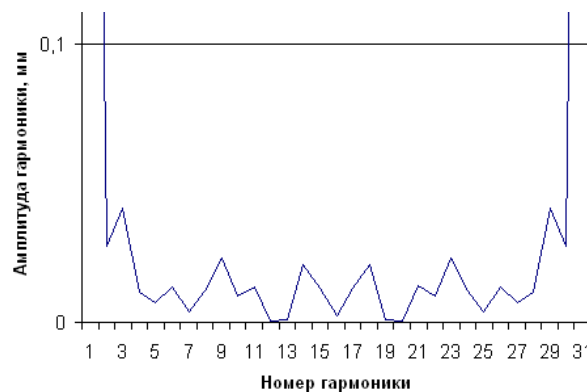


Рис. 5. Гармоническая функция деформационного следа МРД

Анализ свойств гармонических функций указывает на цикличность деформационного следа как по большой, так и по малой роликовым дорожкам. Этот факт указывает на тесноту связи между деформационным следом, оставленным роликами, и циклами внешнего воздействия от зубков в момент отделения породы в забое.

Кратность минимального значения гармоник деформационного следа приходится на количество роликов в комплекте (15 больших и 13 малых роликов),

что устанавливает связь между структурным компонентом комплекта роликов m и стабилизацией траектории движения роликов заданной структуры в процессе функционирования изделия.

Измеренные значения деформационного следа на большой и малой роликовых дорожках шарошки, а также износ двух рядов зубков приведены в табл. 1.

На рис. 6 представлен график, построенный по табличным значениям.

Корреляционная связь деформационного следа и износа зубков, а также деформационного следа между малой и большой роликовыми дорожками представлены в табл. 2.

Таблица 1. Численные значения деформационного следа на беговых дорожках шарошки и износа зубков

№ п/п	Значения деформационного следа, мм			Износ зубков, мм	
	МРД	БРД (низ)	БРД (верх)	Ряд зубков, приходящийся на БРД (1 ряд)	Ряд зубков, приходящийся на МРД (2 ряд)
1	0,015	0,015	-0,015	0,005	-0,015
2	-0,045	-0,21	-0,3	0,21	0,05
3	-0,2	-0,465	-0,59	0,42	0,11
4	-0,4	-0,72	-0,93	0,515	0,205
5	-0,455	-0,765	-1,09	0,58	0,355
6	-0,56	-0,81	-1,13	0,7	0,325
7	-0,555	-0,83	-1,045	0,6	0,25
8	-0,45	-0,78	-0,795	0,44	0,16
9	-0,37	-0,52	-0,495	0,385	0,095
10	-0,175	-0,23	-0,185	0,19	0,01
11	-0,035	-0,03	0,02	0,13	-0,025
12	0,04	0,05	0,06	0,04	0

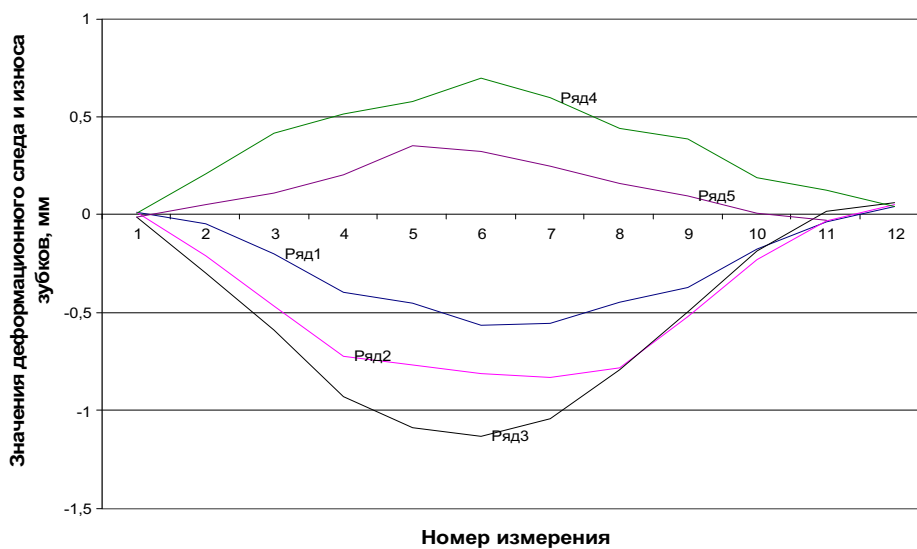


Рис. 6. Изменение параметров деформационного следа и износа зубков, полученных по результатам эксперимента:
 ряд 1 – МРД; ряд 2 – БРД (низ); ряд3 – БРД (верх); ряд 4 – 1 ряд зубков; ряд 5 – 2 ряд зубков

Таблица 2. Корреляционная связь деформационного следа и износа зубков

	МРД	БРД (низ)	БРД (верх)	1 ряд	2 ряд
МРД	1	–	–	–	–
БРД (низ)	0,971711	1	–	–	–
БРД (верх)	0,937607	0,974657	1	–	–
1 ряд	-0,94587	-0,96106	-0,98329	1	–
2 ряд	-0,86596	-0,89549	-0,96714	0,950508	1

Анализ значений коэффициентов корреляции (табл. 2) указывает на существование тесной корреляционной связи между деформацией роликовых дорожек и износом зубков шарошки.

Корреляционный анализ деформированных роликовых дорожек позволил установить свойство стационарности взаимодействия роликов с контактируемыми поверхностями и выявить наличие жёстких кинематических связей в случайном процессе эксплуатации роликовых опор без сепаратора. Поскольку конструкция роликовых опор не предусматривает жёстких кинематических связей, то в соответствии с общим принципом их структурной взаимосвязи определялась степень стабильности их траекторий при эксплуатации. С этой целью установлено влияние структурной составляющей сборки m на эксплуатационные параметры. Корреляционный анализ роликовой дорожки указывает также на наличие кинематических связей между роликами и угловыми положениями зубков. Это является необходимым условием при разработке модели структурно упорядоченной сборки с возможностью прогнозирования ресурса роликовых опор [3]. Наличие групповых свойств является достаточным условием сборки с прогнозированием ресурса, которые характеризуют взаимодействия роликов с роликовыми дорожками. Для этого определяется степень статистической взаимосвязи между роликами и роликовой дорожкой с учётом внешней нагрузки на опору.

В качестве эксплуатационного параметра рассматривается время до возникновения отказа в результате заклинивания опоры. Такой вид отказа является результатом эксплуатационного

процесса, требующего времени при взаимодействии подвижных деталей роликовых опор качения. Этот процесс следует рассматривать как пару событий сборки и эксплуатации: первое событие отмечает начало действия, а второе – его завершение.

Продолжительность эксплуатации на примере роликовых опор бурового долота определяется интервалом времени между событием – начала бурения и событием – завершения, т. е. наступлением заклинивания. В течение этого времени могут происходить другие события, которые не входили в предметную область исследования.

Тематика работы входит в состав научно-исследовательских работ, проводимых в рамках тематического плана СамГТУ по заданию Федерального агентства по образованию на 2006-2009 годы по теме «Разработка теоретических основ структурно упорядоченной сборки тяжелонагруженных изделий машиностроения», номер государственной регистрации НИР 01.2.006 06882.

Выводы:

1. Установлено присутствие статистически устойчивых кинематических связей между роликами и роликовыми дорожками при отсутствии сепаратора в опорах. Этот результат получен на основе корреляционного анализа деформационного следа, оставленного роликами на роликовых дорожках.
2. Учитывая это свойство контакта роликов с роликовой дорожкой, стало возможным выбирать оптимальный параметр угловой ориентации комплектов роликов при сборке роликовых опор, исходя из степени взаимосвязи между структурой комплектов роликов и циклами внешних нагрузок.

Библиографический список

1. Рыльцев, И. К. Комплектование роликов многорядных опор качения со случайной тактикой управляемых параметров [Текст] / И. К. Рыльцев, А. Н. Журавлев, А. Э. Воловненко // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2006. – № 5. – С. 14-19.
2. Статистика в Excel [Текст] / Н. В. Макарова, В. Я. Трофимец // Финансы и статистика: учеб. пособие. – М., 2002. – С. 368.
3. Журавлев, А. Н. Упорядоченная сборка двухрядных роликовых опор [Текст] / А. Н. Журавлев // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2004. – № 10. – С. 14-18.

References

1. Ryltsev, I. K. Gathering of multiple-row roller bearing components with a random tactics of controllable parameters / I. K. Ryltsev, A. N. Zhuravlyov, A. E. Volovnenko // Assembling in mechanical engineering and instrument engineering. – 2006. – No. 5. – PP. 14-19.
2. Statistics in Excel / N. V. Makarova, V. Ya. Trofimets // Finances and statistics: teaching aid. – M., 2002. – P. 368.
3. Zhuravlyov, A. N. Ordered assembly of two-row roller bearings / A. N. Zhuravlyov // Assembling in mechanical engineering and instrument engineering. – 2004. – No. 10. – PP. 14-18.

**ANALYSIS OF GROUP PROPERTIES OF ROLLER INTERACTION IN BEARINGS
USING STATISTICAL**

© 2010 A. N. Zhuravlyov

Samara State Technical University

The paper describes a statistical experiment in realization of roller race profiles of a tricone bit bearing. Bench tests have been carried out and the statistical data obtained are processed using harmonic and correlation analysis.

Roller bearing, mine bit, deformation trace, correlation analysis, harmonic function.

Информация об авторах

Журавлев Андрей Николаевич, кандидат технических наук, докторант кафедры «Технология машиностроения» Самарского государственного технического университета, zan.samgtu@mail.ru. Область научных интересов: сборка тяжело нагруженных изделий машиностроения.

Zhuravlyov Andrey Nikolayevitch, candidate of technical science, working for doctor's degree at the department "Technology of mechanical engineering", Samara State Technical University, zan.samgtu@mail.ru. Area of research: assembling heavy-loaded engineering products.