

In the article the technique of determination of performance indicators of flexible automated machining stations, given the random nature of the time intervals for the preparation and transportation of fixtures-satellites with blanks and machining intervals. Based on queueing theory has developed a methodology to identify possible States of such plots, characterized by a number of satellite devices in service phases and compiling of equations of the interrelationships of the probabilities of these States. Mathematical expressions to determine the coefficient of multi-task machines download time and to determine the sufficient number of devices-satellites

УДК.621.833.24; 539.3

**Антонюк В.Е., Скороходов А.С., Александрова В.С., Русецкий В.Н.**

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МЕЖОСЕВОГО РАССТОЯНИЯ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ШУМА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

**Введение.** Снижение шума зубчатых передач автотракторной техники в настоящее время является одной из наиболее актуальных задач в связи с нормированием и ужесточением требований к уровню шума. Предполагается, что повышение точности изготовления зубчатой передачи должно приводить к снижению ее шума. Однако на практике это предположение не всегда подтверждается, а затраты на повышение точности изготовления зубчатой передачи не оправдываются.

Точность зубчатой передачи определяется многими взаимосвязанными параметрами, и параметры точности зубчатых передач нельзя оценивать в отрыве от методов их контроля. Выбор метода контроля точности зубчатых колес должен быть связан как с технологией изготовления зубчатой передачи, так и с особенностями ее эксплуатации и требованиями к ресурсу и надежности.

Целью исследования было установление возможности использования параметров измерительного межосевого расстояния для оценки и снижения уровня шума цилиндрических зубчатых передач автотракторной техники.

**Методы контроля измерительного межосевого расстояния.** Измерительное межосевое расстояние (ИМР) является наиболее распространенным параметром контроля зубчатых колес в массовых и серийных производствах. Особенностью контроля ИМР является возможность одновременно контролировать нормы кинематической точности, нормы плавности и нормы бокового зазора, что позволяет считать его универсальным методом контроля зубчатых передач.

В последние годы для контроля ИМР используются приборы с записью параметров двухпрофильного контроля и с программным обеспечением для анализа полученных результатов. Многие известные фирмы по производству зубообрабатывающего оборудования в настоящее время создали и предлагают к поставке приборы двухпрофильного контроля с записывающими устройствами – Gleason [1], Klingelberg [2], появились новые фирмы, такие как Frenco [3–5], которые специализируются на разработке и поставке средств двухпрофильного контроля для различных типов зубчатых передач.

Белорусским предприятием «ОАО завод «ВИЗАС» для контроля ИМР создан промышленный прибор ВЗ–681 с записью параметров двухпрофильного контроля и программным обеспечением для оценки точности [6]. В базовой комплектации промышленный прибор для контроля ИМР ВЗ–681 поставляется для записи параметров двухпрофильного контроля в стандарте ГОСТ 1643-81 [7], большинство зарубежных приборов обеспечивают записи параметров двухпрофильного контроля в стандартах DIN и AGMA.

Для записи и анализа параметров ИМР при проведении исследова-

ний использовался модернизированный базовый межцентромер (МЦ), разработанный как упрощенный альтернативный вариант промышленного прибора для контроля ИМР ВЗ – 681 (рис. 1а).

Базовое программное обеспечение модернизированного межцентромера обеспечивает результаты контроля в виде графика с цифровой обработкой результатов в виде протокола измерения и оценкой измеряемого зубчатого колеса по 4-м параметрам ( $F_i^I$  – колебание ИМР за оборот зубчатого колеса,  $f_r^I$  – колебание ИМР на одном зубе,  $E_a$ ,  $E_{ai}$  – предельные отклонения ИМР) в соответствии с ГОСТ 1643-81 (рис. 1б).

Для исследования шума использовался универсальный испытательный стенд с разомкнутым силовым контуром. Измерение шума проводилось с записью спектра шума в третьоктавных полосах и уровня шума по шкале А, уровень шума в третьоктавных полосах, соответствующих зубцовой частоте  $f_z$  и удвоенной зубцовой частоте  $2f_z$ . При проведении исследований также фиксировались пятно контакта.

**Объект исследований.** В качестве объекта исследований использовались зубчатые колеса 5-й передачи коробки передач 65151, параметры которых приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Параметры зубчатых колес 5-й передачи коробки передач 65151

Параметры зубчатого колеса	Ведомое колесо 202-1701132	Ведущая шестерня 202-1701053
Модуль нормальный	5	5
Число зубьев	26	35
Угол наклона, град	20	20
Направление линии зуба	левое	правое
Угол профиля, град	24	24
Степень точности	8-7-7-Cd	8-7-7-Cd

Исследуемые зубчатые колеса контролировались поэлементно на координатно-измерительных машинах моделей «GearSpect do – 3 PC» и «Gear pro» с уточнением результатов измерения в соответствии с требованиями ГОСТ 1643-81.

**Оценка уровней шума.** В таблице 2 приведены результаты оценки уровня шума по результатам испытания зубчатых пар, изготовленных с зубошлифованием по действующему производственному технологическому процессу, при частоте вращения ведущей шестерни 1500 мин<sup>-1</sup> и тормозном моменте 90 Нм [8].

**Антонюк Владимир Евгеньевич**, д.т.н., главный научный сотрудник лаборатории металлургии в машиностроении Объединенного института машиностроения НАН Беларуси.

**Скороходов Андрей Станиславович**, к.т.н., ведущий научный сотрудник отдела динамического анализа и вибродиагностики машин Объединенного института машиностроения НАН Беларуси.

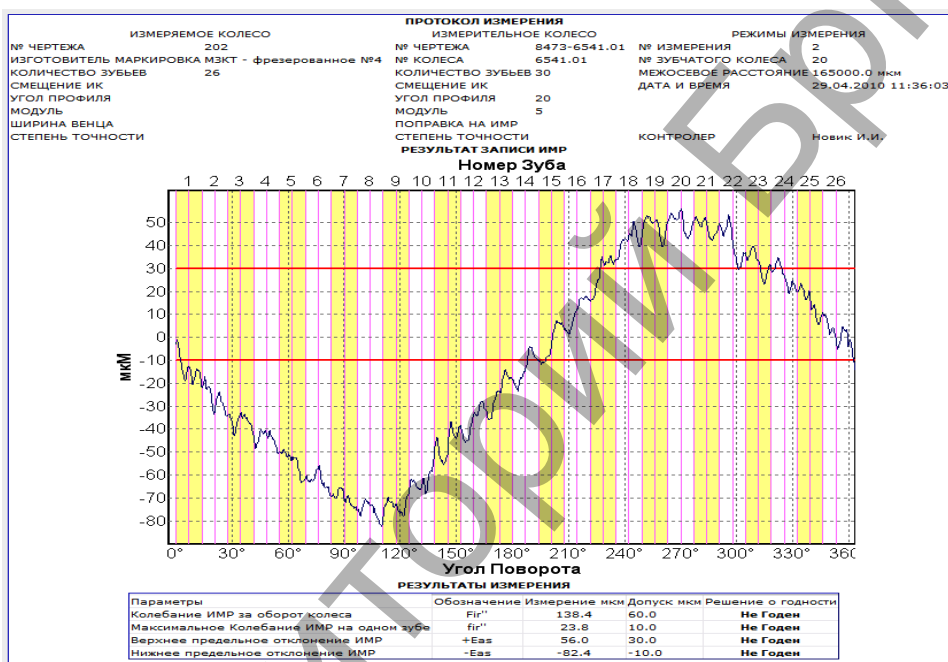
**Александрова Вера Сергеевна**, научный сотрудник лаборатории газотермических методов упрочнения деталей машин НТЦ «Технологий машиностроения и технологического оборудования» Объединенного института машиностроения НАН Беларуси. Беларусь, 220072, г. Минск, ул. Академическая, 12.

**Русецкий Василий Николаевич**, главный метролог Открытого акционерного общества "Минский автомобильный завод", e-mail: metpolog@maz.by.

Беларусь, 220021, г. Минск, ул. Социалистическая, 2.



а)



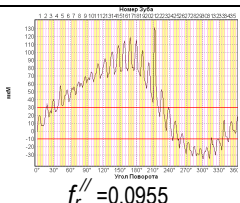
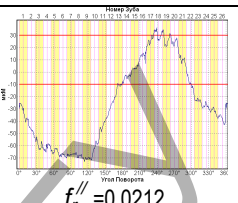
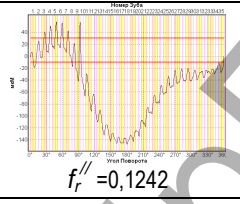
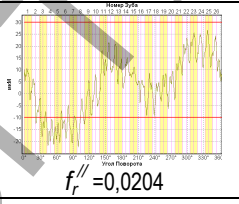
б)

Рис. 1. Модернизированный межцентромер для двухпрофильного контроля ИМР (а) и протокол измерения зубчатого колеса (б)

Таблица 2. Результаты оценки уровня шума зубчатых пар, изготовленных с зубшлифованием по действующему производственному технологическому процессу

№ пары	Номер колеса	Степень точности по ГОСТ 1643-81	Уровень шума под нагрузкой, дБ			Пятно контакта на стенде под нагрузкой	
			$f_z$	$2f_z$	$L_{общ}$	202-1701053	202-1701132
1-1	202-1701053	6 - 10 - 10	86	92	108,2		
	202-1701132	10 - 9 - 11					
2-2	202-1701053	7 - 7 - 9	90	90	102,5		
	202-1701132	9 - 8 - 11					
3-3	202-1701053	7 - 9 - 11	103	102	112,8		
	202-1701132	10 - 9 - 11					

Таблица 3. Результаты измерения уровня шума зубчатых пар и суммарного колебания ИМР на одном зубе  $\Sigma f_r''$

№ пары	Уровень шума под нагрузкой, дБА			Суммарное колебание ИМР на одном зубе $\Sigma f_r''$	Измерение колебания ИМР	
	$f_z$	$2f_z$	$L_{общ}$		202-1701053	202-1701132
1-1	86	92	108,2	0,1167		
3-3	103	102	112,8	0,1446		

Испытываемые зубчатые колеса имели большой разброс по точности от 7-й до 11-й степени в различном сочетании по основным параметрам точности, соответственно наблюдался разброс общего уровня шума от 102,5 до 112,8 дБА и на зубцовой частоте  $f_z$  от 86 до 103 дБ. Однако результаты измерения общего уровня шума по шкале А и в третьоктавных полосах, соответствующих зубцовой частоте  $f_z$ , не показали прямой зависимости между уровнем шума и точностью зубчатых колес. Кроме того, результаты проведенных испытаний подтвердили предположение о недостаточности информации при проведении измерений поэлементной точности по ГОСТ 1643-81 на координатно-измерительных машинах для установления зависимости уровня шума от степени точности изготовления зубчатых колес.

После проведенного цикла измерений поэлементной точности на координатно-измерительных машинах и измерений шума зубчатые колеса из исследуемых зубчатых пар были проконтролированы на модернизированном межцентромере с записью результатов измерения.

**Связь между параметрами шума и ИМР.** Из параметров ИМР наибольший интерес для поиска связи с параметрами шума представляет колебание измерительного расстояния на одном зубе  $f_r''$ . Так как погрешность зубчатой передачи является суммарной погрешностью зубчатых колес, то в качестве оценочного показателя зубчатой передачи определялась суммарное колебание ИМР на одном зубе  $\Sigma f_r''$  для ведущего и ведомого зубчатых колес.

В таблице 3 приведены результаты измерения уровня шума зубчатых пар и суммарное колебание ИМР на одном зубе  $\Sigma f_r''$ .

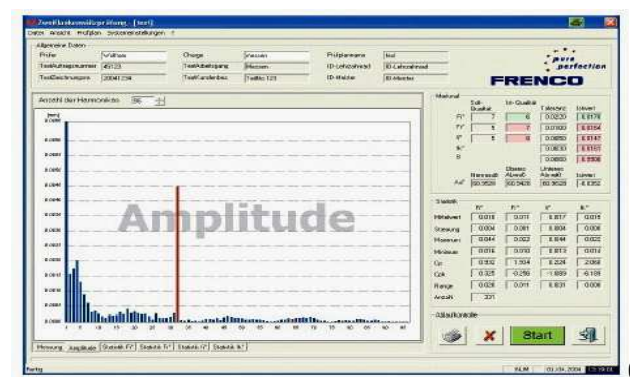
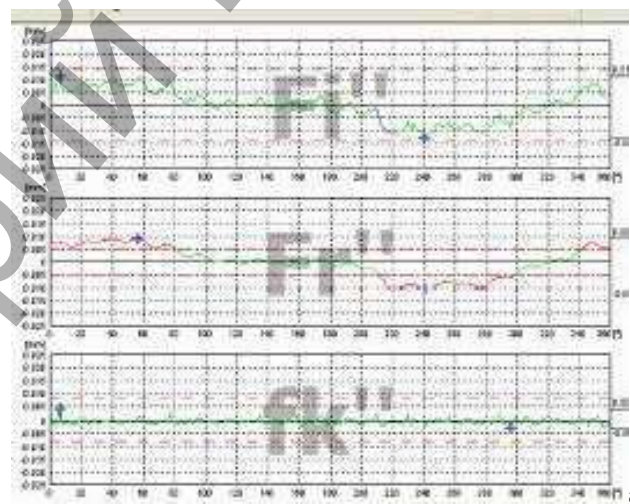
Полученные результаты измерения уровня шума зубчатых пар и суммарного колебания ИМР на одном зубе  $\Sigma f_r''$  для зубчатых пар, изготовленных с зубшлифованием по действующему производственному технологическому процессу, подтвердили связи показателей шума и колебания ИМР на одном зубе:

- отмечена достаточная четкая зависимость общего уровня шума по шкале А и суммарным колебанием ИМР на одном зубе  $\Sigma f_r''$ ,
- отмечена менее четкая зависимость уровня шума на частотах  $f_z$  и  $2f_z$  и суммарным колебанием ИМР на одном зубе  $\Sigma f_r''$ .

Дальнейшие исследования были проведены по поиску связи между параметрами шума на частотах  $f_z$  и  $2f_z$  и колебанием ИМР на одном зубе. Был отмечен наиболее высокий уровень шума на частотах  $f_z$  и  $2f_z$  для зубчатой пары 3-3.

Известно, что ряд зарубежных поставщиков предлагает приборы двухпрофильного контроля с возможностью обработки результатов измерения с выделением колебания ИМР на одном зубе (рис. 2а). Анализ выделенной записи колебания ИМР позволяет определить гармонические составляющие колебания и их амплитуды, что может являться исходной информацией для поиска связей между спектром шума зубчатой передачи и спектрами выделенной записи колебания

ИМР на одном зубе (рис. 2б). Это положение соответствует направленности зарубежных исследований по анализу спектров погрешностей при разработке средств и программных обеспечений для двухпрофильного контроля [9, 10].



а) колебания ИМР на одном зубе; б) частотный спектр

Рис. 2. Обработка результатов измерения на приборе двухпрофильного контроля фирмы Frenco

С целью аналогичной обработки результатов записи ИМР в качестве дополнительной опции к базовому программному обеспечению на модернизированном межцентромере было разработано с использованием MATLAB 7.7.0 выделение записи колебания ИМР на одном зубе (рис. 3).

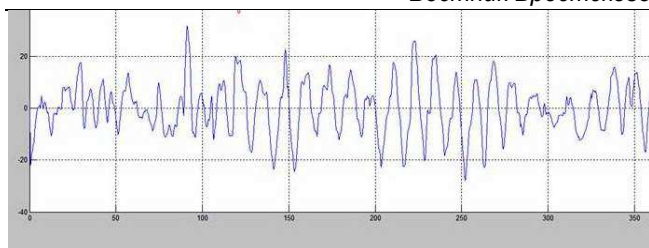


Рис. 3. Выделенная запись колебания ИМП на одном зубе

#### Заключение

1. Результаты проведенных исследований подтвердили недостаточность показателей поэлементной точности по ГОСТ 1643-81 для установления зависимости уровня шума от степени точности изготовления зубчатых колес.
2. Установлена зависимость общего уровня шума по шкале А от суммарного колебания ИМП на одном зубе  $\Sigma f_r''$  для зубчатых колес в пределах 7–9 степеней точности, изготовленных по технологическим процессам с зубошлифованием.
3. Предложено дальнейшее направления исследований для установления связей между параметрами спектра шума зубчатых передач и показателями точности зубчатых колес по спектральному анализу выделенного колебания измерительного межосевого расстояния на одном зубе.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Funktionslehren / Gleason. – 6 с.
2. Zweiflanken-Wälzprüfgeräte Klingelberg ZW 301 und ZW 401 / Klingelberg. – 1 с.
3. Double flank gear roll inspection machines / Frenco GmbH. – 20 с.
4. Zweiflankenwälzprüfgeräte / Frenco GmbH. – 8 с.
5. Die neue Software von FRENCO Frenco Gear Inspector 1.0 / Frenco GmbH. – 8 с.
6. Антонюк, В.Е. Двухпрофильный контроль зубчатых колес / В.Е.Антонюк, В.Н.Русецкий, В.Н.Лещев // *Металлообработка. Оборудование и инструмент*. Харьков. – 2010. – №2 (123). – С. 72–75.
7. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски: ГОСТ 1643-81. – М.: Издательство стандартов. – 1989. – 68 с.
8. Разработка комплексной системной оценки качества изготовления и технического состояния зубчатых приводов, методов улучшения их виброакустических характеристик и повышения надежности: отчет о НИР (закл.) / Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси; рук. Н.Н. Ишин. – Минск, 2010. – 72 с. – № ГР 20065571.
9. Reiter, E. Practical Considerations for the Use of Double-Flank Testing for the Manufacturing Control of Gearing – Part I / E. Reiter, F. Eberle // *Gear Technology*. January/February. – 2014. – S. 44–51.
10. Reiter, E. Practical Considerations for the Use of Double-Flank Testing for the Manufacturing Control of Gearing – Part I / E. Reiter, F. Eberle // *Gear Technology*. March/April – 2014. – S. 60–69.

Материал поступил в редакцию 17.11.15

#### ANTONJUK V.E., SKOROKHODOV A.S., ALEKSANDROVA V.S., RUSSETSKI V.N. Interrelation of parametres of measuring interaxial distance with indicators of noise of cylindrical tooth gearings

Results of research of interrelation of indicators of noise with parametres of measuring interaxial distance of tooth gearings are stated at their two-profile control.

УДК 621.891.2

Гуца А.А., Дудан А.В., Жорник В.И.

### ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА УЗЛОВ ТРЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЕМ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА НАНОРАЗМЕРНЫМИ АЛМАЗАМИ

**Введение.** Ресурс узлов трения машин в значительной степени определяется работоспособностью используемых смазочных материалов. Современное развитие техники связано с повышением скоростей и нагрузок в узлах трения, что требует разработки новых смазочных материалов, обладающих повышенной нагрузочной способностью и обеспечивающих более низкую интенсивность изнашивания.

В последнее время получают все большее распространение попытки направленного улучшения свойств пластичных смазок введением в их состав различных добавок. Использование добавок в смазках, и, прежде всего, совместное введение присадок и наполнителей, позволяет наиболее гибко регулировать структуру смазок. Все большее научное и практическое значение приобретают работы по использованию в качестве твердых добавок различного рода наноразмерных компонентов. Их использование дает результаты нового качественного уровня по сравнению с применяемыми ранее добавками.

В качестве наноразмерных частиц, оказывающих модифицирующее действие на смазочные материалы, используют ультрадисперсные металлы, керамики, природные силикаты, графит, фуллерены и фуллереноподобные структуры, углеродосодержащие продукты детонационного синтеза – ультрадисперсные алмазы (УДА) и ультрадисперсную алмазографитовую шихту (УДАГ).

**Применение УДА в качестве модификатора смазочных ма-**

**териалов** обусловлено рядом факторов: наноалмазы структурируют масляную пленку, увеличивают ее динамическую прочность, действуют на кристаллическую решетку поверхности металла, упрочняя ее, формируют новые поверхности трения, уменьшая граничное трение и износ (особенно при больших нагрузках).

Эти качества УДА реализуются многими разработчиками смазочных материалов с целью повышения антифрикционных и противоизносных свойств смазочных материалов, расширения диапазона их рабочих температур и нагрузок.

Используют как синтетический, так и природный технический алмазный порошок. Однако, следует отметить, что использование в качестве добавки природного технического алмазного порошка приводит к необходимости тщательного отбора и контроля однородности применяемого природного материала как по размерам частиц, так и по их составу.

Известен смазочный материал, содержащий базовое масло с присадкой в виде микропорошка природных алмазов, отличающийся тем, что в качестве присадки применен природный алмазный микропорошок в концентрации 1–10 мас.%, остальное – базовое масло [1]. Достижимый эффект заключается в повышении эксплуатационных свойств предлагаемого смазочного материала, а именно его противозадирных показателей. При этом наблюдается значительное ухудшение остальных эксплуатационных параметров (механическая,

Гуца Анастасия Александровна, ассистент кафедры автомобильного транспорта Полоцкого государственного университета.

Дудан Александр Витальевич, к.т.н., доцент кафедры автомобильного транспорта Полоцкого государственного университета.

Беларусь, ПГУ, 211440, Витебская обл., г. Новополоцк, ул. Блохина 29.

Жорник Виктор Иванович, д.т.н., зав. лабораторией наноструктурных и сверхтвёрдых материалов Объединенного института машиностроения НАН Беларуси.

Беларусь, 220072, г. Минск, ул. Академическая, 12.