

---

---

### Рецензируемый научно-теоретический журнал

#### *Редакционный совет*

*Б. А. Якимович*, д-р техн. наук, проф. (главный редактор); *В. А. Алексеев*, д-р техн. наук, проф. (зам. главного редактора); *Ю. О. Михайлов*, д-р техн. наук, проф. (зам. главного редактора); *И. В. Абрамов*, д-р техн. наук, проф.; *А. В. Вахрушев*, д-р физ.-мат. наук; *В. И. Гольдфарб*, д-р техн. наук, проф.; *В. Б. Дементьев*, д-р техн. наук, проф.; *Л. Йожя*, проф. в области маркетинга; *Ф. Ким-Шиан*, проф.; *И. З. Климов*, д-р техн. наук, проф.; *В. И. Кодолов*, д-р хим. наук, проф.; *Я. Кудлачек*, инж., PhD; *А. Л. Кузнецов*, д-р экон. наук, проф.; *В. А. Кутергин*, д-р техн. наук, проф.; *А. М. Липанов*, д-р техн. наук, проф., акад. РАН; *В. Е. Лялин*, д-р техн. наук, д-р экон. наук, д-р геол.-минерал. наук, проф.; *О. Моравчик*, д-р техн. наук, проф.; *А. И. Нистюк*, д-р техн. наук, проф.; *Й. Орбан*, д-р техн. наук, проф.; *М. В. Петрова*, д-р полит. наук; *К. Райс*, канд. техн. наук, проф.; *Ф. А. Романюк*, д-р техн. наук, проф.; *О. И. Шаврин*, д-р техн. наук, проф.; *М. И. Шишкин*, д-р экон. наук, проф.

#### *Редакционная коллегия*

<b>Машиностроение и машиноведение</b>	<i>С. Н. Храмов</i> , д-р техн. наук, проф. <i>В. Н. Диденко</i> , д-р техн. наук, проф. <i>В. И. Добровольский</i> , д-р техн. наук, проф. <i>С. А. Писарев</i> , д-р техн. наук, проф.
<b>Экономические науки</b>	<i>Р. А. Галиахметов</i> , д-р экон. наук, проф. <i>Е. А. Полищук</i> , д-р экон. наук, проф. <i>Н. Л. Тарануха</i> , д-р экон. наук, проф.
<b>Радиотехника и связь</b>	<i>В. В. Хворенков</i> , д-р техн. наук, проф. <i>О. В. Муравьева</i> , д-р техн. наук, проф. <i>В. А. Куликов</i> , д-р техн. наук, проф.
<b>Информатика, вычислительная техника и управление</b>	<i>О. В. Малина</i> , д-р техн. наук, проф. <i>В. В. Муравьев</i> , д-р техн. наук, проф.
<b>Педагогические науки</b>	<i>Ю. А. Шихов</i> , д-р пед. наук, проф. <i>Ю. Н. Сёмин</i> , д-р пед. наук, проф. <i>Е. В. Осмина</i> , д-р психол. наук, проф.

ISSN (online) 2413-1172  
Сайт журнала с возможностью подачи рукописи  
<http://izdat.istu.ru>

© ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2017  
© Издательство ИжГТУ  
имени М. Т. Калашникова, 2017

---

Рецензируемый научно-теоретический журнал «Вестник Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова» включен ВАК России в перечень ведущих научных журналов, в которых публикуются основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук.

---

Журнал зарегистрирован Управлением Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций по Удмуртской Республике. Свидетельство ПИ № ТУ18-00664 от 31 мая 2017 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

**Машиностроение и машиноведение**

<i>Трубачев Е. С.</i> Перспективы формообразования зубьев с помощью двухпараметрических семейств производящих линий.....	4
<i>Ражиков В. Н., Беляев А. Н.</i> Особенности расчета кинематической точности планетарных зубчатых передач вида $K-H-V$ .....	8
<i>Полужтков Е. А., Хазиев Т. Р.</i> Зубофрезерование конической незвольвентной шестерни цилиндрической передачи внутреннего зацепления.....	12
<i>Бружас В. В., Лопатин Б. А., Плотникова С. В.</i> Разработка твердотельных моделей эвольвентно-конических зубчатых колес.....	15
<i>Тескер Е. И., Карабань В. Г., Соломатин А. В.</i> Повышение нагрузочной способности бесступенчатых импульсных передач.....	19
<i>Слацев Е. С.</i> Принципы формообразования портативного рентген-флуоресцентного анализатора при конструировании и дизайн-проектировании.....	22
<i>Анферов В. Н., Ткачук А. П., Зайцев А. В.</i> Расчет ресурса спироидного редуктора в приводе кабелесборочного механизма электропогрузчика.....	24
<i>Плеханов Ф. И., Вычужанина Е. Ф., Пушкарев И. А., Сунцов А. С.</i> Исследование распределения нагрузки в зацеплениях колес многопоточных планетарных передач и его влияния на технико-экономические показатели привода.....	29
<i>Горбунов М. В., Смирнов В. В.</i> Выявление оптимального числа волн планетарной роторной гидромашин по критерию производительности.....	35
<i>Курасов Д. А.</i> Геометрический синтез планетарной роторной гидромашин, содержащей круглые и некруглые центральные колеса.....	37
<i>Кане М. М.</i> Возможности повышения эффективности статистического моделирования технологического процесса зубонарезания цилиндрических шестерён.....	40
<i>Волков Г. Ю., Киселев С. А.</i> Изготовление зубчатых венцов с использованием флексагонов.....	43
<i>Горбунов Г. С., Морозов К. С., Соловьев С. Д.</i> Классификация и технико-экономические показатели процессов наплавки.....	47
<i>Волков А. Э., Медведев В. И.</i> Задачи синтеза и анализа профилирования инструмента для шлифования винтовых поверхностей.....	51
<i>Кораблев Г. А.</i> О механизме корпускулярно-волновых взаимодействий.....	55
<i>Кузнецов А. С., Санников А. М.</i> Метод расчета упругопластически тяжело нагруженной низкоскоростной спироидной передачи.....	60
<i>Богданов К. В., Хватов Д. А.</i> Реализация метода обработки витков червяка торцевой резцовой головкой на токарном станке с ЧПУ.....	64
<i>Элбакян А. Г., Сентяков Б. А.</i> Экспериментальное исследование процесса акустической обработки холстов из супертонкого базальтового волокна.....	68
<i>Бабичев Д. Т.</i> Основные задачи классической теории зубчатых зацеплений и проблемы оптимизационного синтеза профилей зубцов.....	71

<i>Головки А. Н., Юрасов С. Ю.</i> Усовершенствованная конструкция шевера с винтовыми режущими кромками для чистовой обработки зубьев зубчатых колес.....	74
<i>Трубачев Е. С., Савельева Т. В., Пушкарева Т. А., Фарукишина Л. Н.</i> Некоторые результаты проектирования и освоения серийного производства ответственной червячной передачи.....	76
<i>Рябов Е. А., Юрасов С. Ю., Кондрашов А. Г.</i> Создание модели червячной зуборезной фрезы с использованием эквивалентной зубчатой рейки.....	82
<i>Хусаинов Р. М., Хазиев Р. Р., Юрасов С. Ю.</i> Математическое моделирование точности нарезания зубчатых колес на зубодолбежных станках.....	85
<i>Печенкин М. В., Абзалов А. Р., Шустов В. Э.</i> К вопросу разработки методики измерения параметров зубчатых колес с гиперболической деликательной поверхностью и назначения норм точности.....	87
<i>Филипенков А. Л., Пишизов А. К.</i> Планетарные редукторы, встраиваемые в барабаны грузовых лебедок судовых кранов.....	90
<i>Нахатакян Ф. Г.</i> Жесткость роликовых подшипников с учетом радиального зазора.....	93
<i>Тескер Е. И.</i> перспективы применения лазерной обработки (ЛО) для повышения надежности и технического уровня зубчатых колес трансмиссий и приводов.....	97
<i>Антонюк В. Е., Гоман А. М., Ишин Н. Н., Кане М. М., Комиссаров В. В., Скороходов А. С., Сосновский Л. А., Старжинский В. Е., Тескер Е. И.</i> Проблемы стандартизации в области зубчатых передач и некоторые результаты разработки нормативной документации. Часть 1. Стандартизация в области точности, видов повреждений и изготовления зубчатых передач.....	102
<i>Комиссаров В. В., Таранова Е. С., Дробышевский П. С., Замятин В. О., Тюрин С. А., Сосновский Л. А.</i> Об опыте изготовления и эксплуатации зубчатых колес из нового конструкционного материала «Моника».....	107
<i>Гольдфарб В. И., Трубачев Е. С., Харанжевский Е. В., Ипатов А. Г., Богданов К. В., Матвеева Ю. Ю.</i> Новая технология лазерной модификации поверхностей низкоскоростных тяжело нагруженных опор скольжения.....	112

**Экономические науки**

<i>Маликова Д. М.</i> Современные подходы к управлению опытно-серийным производством на предприятиях оборонно-промышленного комплекса.....	118
<i>Иванова Т. Н., Габриелян Ж. С.</i> Оценка рисков внедрения технологии «Зеленое строительство».....	121
<i>Соклакова А. В., Лихачёв В. Н.</i> Измерение экономических потерь, возникающих при оттоке человеческого капитала из страны.....	123
<i>Симченко О. Л., Грахов В. П.</i> Теоретическое обоснование необходимости стимулирования и государственной поддержки инвестиционно-инновационного сектора региона.....	128

<i>Матвеева И. В., Хоменко Е. Б.</i> Бизнес-инкубатор как институт информационной поддержки малых предприятий.....	131
<i>Пушина Н. Н., Макарова С. М., Сунцова С. А.</i> Формирование эффективной структуры управления наукоемким производством на разных стадиях его реализации.....	134
<i>Хоменко Е. Б., Оруджева А. Р., Шаехов И. И.</i> Технопарк как институт инфраструктурной поддержки инновационного предпринимательства в России.....	137
<i>Раменская Г. П., Раменский С. Е., Раменская В. С.</i> Использование профессиональных стандартов для выбора работника из числа пенсионеров, желающих занять вакантное рабочее место.....	140

#### **Информатика, вычислительная техника и управление**

<i>Тарасов В. Г., Трифонов А. О.</i> Методика декларативного проектирования программного обеспечения: анализ требований к системе.....	143
<i>Истомин Д. А., Гитман М. Б.</i> Имитационная модель управления стратегическим развитием промышленного предприятия.....	150
<i>Благодатский Г. А., Докучаев Д. Е.</i> Разработка модели прецедентов предприятий пищевой промышленности по технологии OMG RUP.....	153
<i>Ibrahim I. N., Al Akkad M. A.</i> Studying the Disturbances of Robotic Arm Movement in Space Using the Compound-Pendulum Method.....	156

<i>Аль Аккад М. Айман, Газимзянов Ф. Ф.</i> Автоматизированная система оценки композиционных характеристик 2D-изображения: концепция.....	160
---	-----

#### **Педагогические науки**

<i>Кузнецова Л. Н., Анисимова А. Ю., Гибадуллин И. Г.</i> Использование дыхательных упражнений, способствующих развитию общей выносливости, на занятиях по физическому воспитанию.....	163
<i>Кожевников В. С.</i> Использование стабилотри в целях управления многолетней подготовкой спортсменов.....	165
<i>Михалкин В. С.</i> К дополнительности научных и религиозных аспектов образования как фактора восстановления его цивилизационных основ.....	167
<i>Шишкина А. А.</i> Психологическое состояние слабослышащих и глухих студентов-первокурсников технического вуза. Результаты цветового теста М. Люшера.....	170
<i>Мирошниченко А. А., Мерзлякова Д. Р.</i> Региональная система обеспечения психологического здоровья участников образовательных отношений: квалиметрический аспект.....	172
<i>Мишина С. В.</i> Практико-ориентированный подход к профессиональной подготовке будущих экономистов и тенденции гуманитаризации и фундаментализации образования.....	177
<b>Аннотации и ключевые слова</b> .....	180
<b>Сведения об авторах</b> .....	211
<b>Требования к оформлению статей</b> .....	214

Аналогично, значение наибольшей кинематической погрешности  $F_r'$  определяется как разность максимального и минимального значений тангенциальной составляющей  $\Delta T(C)$  на промежутке от 0 до  $2\pi$ :

$$F_r' = \max_{0 \leq C \leq 2\pi} [\Delta T(z, C)] - \min_{0 \leq C \leq 2\pi} [\Delta T(z, C)]. \quad (3)$$

Величина соответствующей погрешности, рассчитанная по формуле (3), составляет 0,122 мм, что также соответствует параметрам, получаемым на станках такого типа.

Предлагаемый подход позволяет установить взаимосвязь между комплексом показателей точности зубчатого колеса и производственными погрешностями. На основании выявленной взаимосвязи на стадии подготовки производства появляется возможность прогнозировать точность изготавливаемых зубчатых колес. Таким образом, можно оценить воз-

Получено 24.04.2017

можности действующего производства по реализации возможного заказа или подобрать необходимые средства технологического оснащения для создания нового производства.

#### Библиографические ссылки

1. *Калашиников Н. А.* Точность в машиностроении и ее законы. – М.: Машгиз, 1950. – 250 с.
2. *Тайц Б. А.* Точность и контроль зубчатых колес. – М.: Машиностроение, 1972. – 368 с.
3. ГОСТ 1643–81. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. – М., 2003. – 46 с.
4. *Ахатов Р. Х., Говорков А. С., Жиляев А. С.* Разработка и внедрение программного комплекса «Система анализа технологичности конструкции изделий» при запуске в производство изделий // Известия Самарского научного центра РАН. – 2014. – Т. 16, № 1(5). – С. 1279–1283.
5. *Решетов Д. Н., Портман В. Т.* Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
6. *Калашиников Н. А.* Указ. соч.

УДК 62-233.3/9

DOI 10.22213/2413-1172-2017-2-87-90

**М. В. Печенкин**, кандидат технических наук, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева (КАИ)

**А. Р. Абзалов**, кандидат технических наук, доцент, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А. Н. Туполева (КАИ)

**В. Э. Шустов**, ОАО «Адм-ПРОФ», Санкт-Петербург

## К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С ГИПЕРБОЛОИДНОЙ ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ И НАЗНАЧЕНИЯ НОРМ ТОЧНОСТИ

**В** области передаточных отношений менее 10 широко используется гипоидная передача. Конструктивные особенности зубчатых колес с гиперболоидными делительными поверхностями позволяют эксплуатировать их при одинаковых условиях при реверсировании в отличии от гипоидных.

Изготовление такого типа зубчатых колес стало возможным с развитием многокоординатных станков с ЧПУ, CAD/CAM-систем и разработки методики ориентации инструмента при многокоординатном фрезеровании зубьев зубчатых колес [1–4].

Конструктивные особенности зубчатых колес с гиперболоидными делительными поверхностями в виде изменяющегося угла наклона зубьев по его длине, переменной впадины и толщины зубьев, переменного окружного шага, а также резкое изменение знака кривизны боковой поверхности каждого зуба значительно усложняют процесс измерения и использование имеющихся инструментальных средств.

На рис. 1 показаны сечения одного зубчатого колеса с гиперболоидной делительной поверхностью. Сечения расположены на расстоянии 2 мм от левого

торца зубчатого колеса (получено рассечением плоскости I), на расстоянии 20 мм от левого торца колеса (получено рассечением плоскости II) и на расстоянии 38 мм от левого торца зубчатого колеса (получено рассечением плоскости III). По рисунку видно, что боковая поверхность зуба изменяется с выпуклой (2) на вогнутую (1), переменен окружной модуль и шаг. Кроме того, боковая поверхность зубьев изменяется как по высоте зуба, так и по его длине. Геометрические особенности рассматриваемых зубчатых колес создают значительные сложности для их изготовления и для измерения параметров зубчатого колеса.

Методика измерения показателей качества зубчатых колес с гиперболоидными делительными поверхностями до настоящего времени остается фактически не исследованной.

При осуществлении измерений геометрических параметров зубчатых колес с гиперболоидными зубчатыми передачами предлагается придерживаться следующих рекомендаций.

1. При выборе средств контроля конкретного зубчатого колеса с гиперболоидными делительными поверхностями прежде необходимо исходить из его

геометрических особенностей. Самым сложным с точки зрения контроля является область около горлового сечения, в которой кривизна боковой поверхности зуба резко меняет знак кривизны, что может осложнить доступ шупов координатно-измерительной машины. Для доступа в труднодоступные места боковой поверхности зуба зубчатых колес с гиперболической делительной поверхностью контактным способом следует использовать универсальные координатно-измерительные машины (КИМ), конструкция которых позволяет использовать моторизо-

ванные 5-осевые измерительные головки Renishaw Revo-2 или аналогичные, а также шупы с малым диаметром шарика (например, шарики Renishaw от 0,3 мм и более), подбираемые в зависимости от геометрии зубчатого колеса.

2. Для составления, а также имитационной проверки программы контроля боковой поверхности зуба на предмет ошибок и столкновений следует использовать возможности CAD/CAM-систем, например, специализированный модуль NX CMM Inspection Programming.

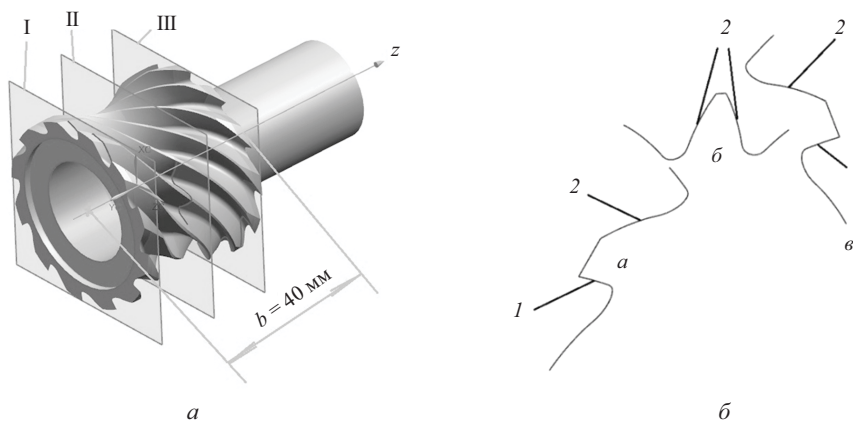


Рис. 1. Зубчатое колесо и вспомогательные плоскости, рассекающие боковую поверхность зубьев (а); сечения боковой поверхности зуба (б)

Альтернативой использованию КИМ, работающим по контактному принципу, являются 3D-КИМ, которые позволяют получить твердотельную модель детали по физической модели [5].

Предлагаемая методика измерения параметров зубчатых колес с гиперболическими делительными поверхностями с использованием 3D координатных измерительных машин предполагает осуществление следующих этапов.

1. Получение облака точек реального зубчатого колеса (рис. 2).

2. Преобразование облака до CAD-модели.

3. Контроль правильности преобразования до CAD-модели в специализированном программном

обеспечении. В случае несоответствий возврат на шаг 2 и исправление ошибок.

4. Осуществление вспомогательных построений поверхностей (вершин, впадин зубьев и т. д.), а также плоскостей, рассекающих боковую поверхность зубьев.

5. Получение точек пересечения (элементов) боковой поверхности зубьев с делительной поверхностью, поверхностью вершин и впадин (рис. 2).

6. Занесение координат точек пересечения (элементов) в базу данных и расчет отклонений контролируемых параметров зубчатого колеса от номинальных значений.

7. По координатам полученных точек рассчитываются величины отклонений каждого из подлежащих контролю показателей точности.

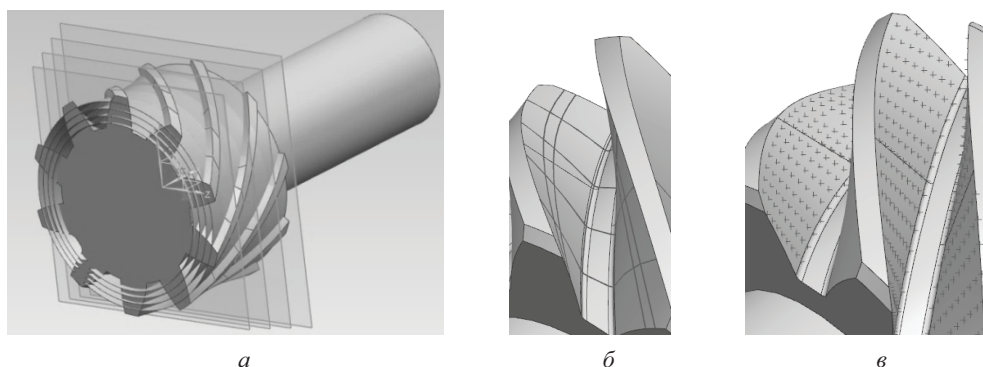


Рис. 2. Вспомогательные построения в NX CAM в геометрическую модель зубчатого колеса, полученную по физической модели: а – построение вспомогательных элементов для получения точек, по которым осуществляется анализ и расчет контролируемых показателей (погрешности шага, накопленной погрешности шага и т. д.); б – линии пересечения вспомогательных элементов с боковой поверхностью зубьев; в – точки пересечения вспомогательных элементов с боковой поверхностью зубьев

Обеспечение гарантированных эксплуатационных характеристик и надежности [6] гиперboloидной передачи без существенного увеличения затрат на изготовление возможно путем обоснованного назначения норм точности по аналогии с гипоидными зубчатыми колесами [7, 8].

Потенциально зубчатые передачи с гиперboloидными делительными поверхностями могут использоваться в приводах, способных передвигаться с максимальными скоростями как в прямом, так и реверсном направлениях. Для таких передач особенно важны пропорциональности углов поворота зубчатых колес или кинематическая точность, которые, в свою очередь, зависят от точности элементов зубчатого колеса и редуктора в целом.

Для обоснованного назначения норм точности отдельных элементов необходимо подвергать анализу влияние погрешностей изготовления отдельных элементов зубчатого колеса на показатели плавности хода, норм кинематической точности.

Так как натурные испытания являются достаточно дорогими, то моделирование работы передачи возможно осуществить в приложении *NX* «Симуляция кинематических механизмов». Для анализа интерес представляет контакт зубьев и плавность пере-

дачи нагрузки, поэтому каждое из колес должно быть определено в системе анализа механизмов как звено, а корпус определен формально. Каждое из колес передачи образуют с корпусом вращательную пару. К ведущему колесу предусмотрен привод, имеется возможность предусмотреть реверсирование. На ведомом колесе предусматривается нагрузка в виде момента трения (рис. 3).

Имитация зацепления позволяет анализировать как пятно контакта, так и нормы кинематической точности зубчатого зацепления. В процессе практического эксперимента в системе *NX* было осуществлено имитационное моделирование работы зубчатой пары с гиперboloидными делительными поверхностями с передаточным отношением 3:1. В системе *NX* накладывались необходимые ограничения. Конструкция анализировалась с учетом погрешностей (погрешностей шага, накопленной погрешности шага, погрешностей профиля зубьев, погрешностей базовых поверхностей и т. д.) Оценивалось влияние погрешностей на пятно контакта и равномерность передачи нагрузки. В результате имитационного моделирования работы анализируемой зубчатой передачи были получены характеристики пятна контакта зубьев и кинематической точности зубчатой пары (рис. 3, 4).

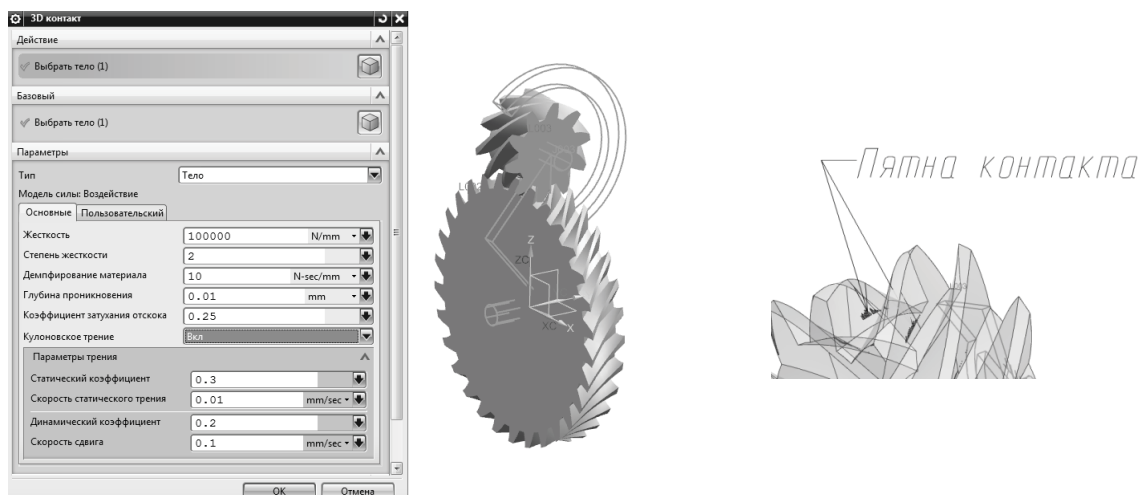


Рис. 3. Имитация контакта боковых поверхностей зубьев зубчатых колес с гиперboloидными делительными поверхностями в *NX* (твердотельная модель получена по физической модели на 3D-КИМ): а – задание параметров контакта; б – результаты имитации контакта зубьев

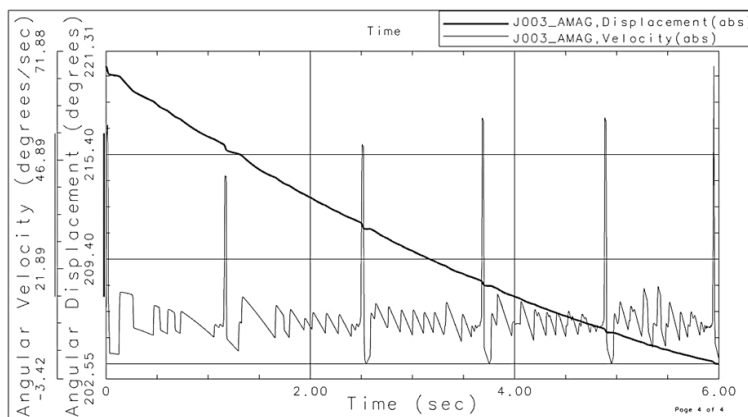


Рис. 4. Контроль кинематической точности зубчатой пары в процессе зацепления имитационным методом в *NX*

По графику на рис. 4 видно, что погрешности изготовления не позволяют зубчатой паре вращаться равномерно – имеют место скачки угловой скорости вращения ведомого колеса. В описанных выше случаях необходимо сравнение допустимых норм кинематической точности, задаваемых чертежом с результатами имитационного моделирования. В случае несоответствий – назначение более высоких норм точности отдельных параметров точности зубчатого колеса и пересчет результатов имитационного моделирования.

Рассмотренные подходы предполагается использовать в качестве основы для разработки методики измерения параметров и рационального назначения норм точности зубчатых колес с гиперболическими делительными поверхностями.

#### Библиографические ссылки

1. Печенкин М. В., Абзалов А. Р. Расчет положения производящих линий при формообразовании боковой поверхности зубьев гиперболической передачи // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.scienceeducation.ru/120-16410> (дата обращения: 22.12.2014).
2. Печенкин М. В., Абзалов А. Р. Кинематика формообразования боковой поверхности зубьев гиперболической передачи концевым инструментом // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12-11. – С. 2310–2314.

3. Печенкин М. В. Профильная модификация зубьев гиперболической передачи // Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. – 2002. – № 2. – С. 29–32.

4. Кротов А. О., Печенкин М. В. Особенности формообразования зубьев зубчатых колес на заготовке вида однополостной гиперболической вращения // Будущее машиностроения России : сб. докл. Восьмой Всерос. конф. молодых ученых и специалистов. – 2015. – С. 103–106.

5. Применение сканирующих систем для конструкторско-технологического обеспечения современных машиностроительных производств / М. В. Печенкин, О. В. Кротов, А. О. Кротов, И. Ю. Кочкин // Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики : междунар. науч.-практ. конф. : сб. докл. – Казань, 2013. – С. 103–116.

6. Иевлев В. О., Газизуллин К. М. Надежность и диагностика технологических систем. – Казань : Новое знание, 2010. – 99 с.

7. Абзалов А. Р., Иванова В. Н., Хабаров А. Е. Размерный анализ на основе параметрических моделей использованием электронных таблиц // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 12. – С. 9–13 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.top-technologies.ru/pdf/2016/12-1/36467.pdf> (дата обращения: 08.03.2017).

8. ГОСТ 1358–81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые конические и гипоидные. Допуски. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1981. – 43 с.

Получено 25.04.2017

УДК 621.833.61

DOI 10.22213/2413-1172-2017-2-90-93

**А. Л. Филипенков**, доктор технических наук, профессор, Балтийский государственный технический университет «Военмех» имени Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург  
**А. К. Пшизов**, ОАО «ЗАРЕМ», Санкт-Петербург

## ПЛАНЕТАРНЫЕ РЕДУКТОРЫ, ВСТРАИВАЕМЫЕ В БАРАБАНЫ ГРУЗОВЫХ ЛЕБЕДОК СУДОВЫХ КРАНОВ

### Введение

В рамках реализации программы импортозамещения в России на ОАО «ЗАРЕМ» поступил заказ на проектирование и изготовление планетарных редукторов для судовых кранов. Как правило, в судовых механизмах всегда идет жесткая борьба за вес. Из всех видов механических передач этому требованию лучше всего удовлетворяют планетарные передачи [1]. Это связано с использованием эффекта многопоточности. Существует несколько типов планетарных передач, но наибольшее распространение получили передачи, проектируемые на базе механизма *A* [2].

Такие передачи отличаются малыми массой и габаритами, а также сравнительной простотой проектирования, изготовления и сборки. Наряду с этим планетарные передачи отличаются высокой надежностью, малыми потерями на трение, составляющи-

ми в авиационных и судовых приводах  $\approx 1\%$  при одной ступени и существенно лучшими, чем в других передачах, виброакустическими свойствами [3].

### Анализ технических заданий

Проектированию подлежат редукторы для трех типоразмеров кранов: 15, 120 и 2500. Для каждого типоразмера крана отдельно разрабатывается редуктор тяговой лебедки.

Планетарный редуктор выполняется по дифференциально замкнутой схеме. Встраиваемый редуктор крепится к соединительному фланцу, приваренному к внутренней поверхности обечайки.

Передача вращающего момента на барабан лебедки осуществляется через стыковочный фланец. Внутри корпуса редуктора должна размещаться опора вращающегося барабана. Радиальная и осевая нагрузки, действующие на фиксирующую опору барабана, через корпус редуктора передаются на опор-

---

Учредитель и издатель  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова»  
426069, Ижевск, Студенческая, 7

Перепечатка материалов допускается только с разрешения учредителя и издателя журнала  
«Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова»

Адрес редакции  
426069, Ижевск, Студенческая, 7, тел./факс (3412)58-38-77  
<http://www.istu.ru>. E-mail: [izdat@istu.ru](mailto:izdat@istu.ru)

Выпуск в свет 29.06.17. Формат 60 × 84/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 25,58. Тираж 100 экз. Заказ № 217. Цена 700 руб.  
Издательство Ижевского государственного технического университета имени М. Т. Калашникова  
Отпечатано в типографии Издательства ИжГТУ. 426069, Ижевск, Студенческая, 7