

ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА, ДОЛГОВЕЧНОСТИ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ И РОЛИКОПОДШИПНИКОВ

Излагаются основные моменты становления и развития зацепления Новикова – альтернативы традиционным системам зацепления.

PROBLEMS OF QUALITY, DURABILITY AND COMPETITIVENESS OF TOOTH GEARINGS AND ROLLER BEARINGS

The basic moments of becoming and development of gearing Novikov – alternatives to traditional systems of gearing are stated.

1. Наряду с изобретением колеса крупной вехой в истории человечества явилось изобретение зубчатой передачи, в значительной мере определившее дальнейшее развитие техники. Начиная со времен Аристотеля [1-15], человечество упорно ищет [1, 16-24] все более совершенные системы зацепления, предъявляя к ним следующие основные требования [2]:

- возможно более плотное взаимное прилегание активных поверхностей зубьев (АПЗ) в процессе зацепления, обеспечивающее высокую контактную прочность;
- возможно более мощное поперечное сечение зуба, предопределяющее повышение его изломной прочности;
- минимальное скольжение АПЗ с целью уменьшения их износа и обеспечения высокого КПД;
- минимальная чувствительность к деформациям деталей передачи и к погрешностям изготовления и монтажа;
- простота профилей зубьев, обеспечивающая высокую точность изготовления при достаточной экономичности производства; возможность максимального использования существующего станочного оборудования и мерительного инструмента.

Однако лишь М.Л. Новикову удалось открыть [3, 4] принципиально новый класс пространственных зацеплений с точечным контактом для передач с любым взаимным расположением осей вращения колес. Переход к таким системам зацепления позволяет использовать для образования зубьев огромное, в отличие от эвольвентного зацепления, число новых форм профилей, не взаимоигибаемых и не имеющих общей огибаемой поверхности. При этом, если классические традиционные методы исходят из профиля стандартного инструмента и отмечены «технологическим подходом» к задаче создания новых видов зубчатых передач, то метод М.Л. Новикова выражает собой «конструкторский подход» к проблеме. Этот метод исходит от готовой, заданной конструктором формы профилей и поверхностей зубьев, обеспечивающих необходимые прочностные, эксплуатационные и другие достоинства передачи. Таким образом, если при

классическом подходе создание новых более перспективных систем зацепления – это тысячи попыток наудачу, то по методу М.Л. Новикова передача с заданными конструктором свойствами получается сразу.

2. На базе новой теории М.Л. Новиков предложил новые виды цилиндрических, конических и червячных передач [5], получил авторские свидетельства [6, 7] на новые бесцепараторные роликовые подшипники качения, обладающие в 2,5-3 раза большей нагрузочной способностью в сравнении с аналогичными по размерам, материалам и термообработке обычными роликовыми подшипниками. На основе теории зацепления М.Л. Новикова разработаны зубчатые передачи с двумя [2] и со многими [8] линиями зацепления, показавшие еще большую нагрузочную способность, чем передачи описанные в [3, 5]; разработаны новые виды роликовых направляющих, шарниров цепей, цилиндрические и конические фрикционные передачи с замкнутыми нормальными силами [9], новые типы муфт. Теория зацепления М.Л. Новикова оказалась весьма эффективной при создании новых кулачковых механизмов, шестеренчатых и винтовых насосов и др., явилась катализатором развития и дальнейшего совершенствования классических систем зацепления [10].

3. В настоящее время классические системы зацепления в своем развитии достигли апогея. Так, модификации [10] явились последним штрихом в эволюции зубчатых эвольвентных передач. Дальнейшее улучшение технико-экономических характеристик и повышение конкурентоспособности эвольвентных передач упирается в непреодолимое препятствие – в известную теорему [11] Эйлера-Савари, согласно которой кривизны начальных поверхностей колес и кривизны АПЗ связаны жесткой зависимостью, а это означает, что попытка увеличить нагрузочную способность и ресурс передачи однозначно приводит к увеличению ее массы и габаритов.

Для зубчатых передач Новикова таких ограничений нет, возможности нового зацепления колоссальные и в настоящее время не вполне изучены.

4. С момента появления зубчатых передач Новикова выполнено значительное количество исследований теоретического и экспериментального характера и осуществлено массовое промышленное внедрение этих передач. В настоящее время считается доказанным, что передачи Новикова, в сравнении с эвольвентными передачами, обладают повышенной нагрузочной способностью, передают нагрузку с низкими потерями мощности. Применение передач Новикова при неизменной нагрузочной способности позволяет значительно уменьшить габариты и массу, при неизменных габаритах – удлинить срок службы привода. Так, по данным сравнительных испытаний [2, 12, 13] цилиндрические зубчатые передачи Новикова обеспечивают увеличение контактной прочности в 2-2,1 раза, изломной прочности – в 1,3-1,5 раза. Другим их преимуществом перед иными передачами являются в 2-2,5 раза меньшие потери на трение в зацеплении и 3-4 раза меньший износ АПЗ. Более того, приработка зубьев вследствие их износа улучшает, в отличие от эвольвентных передач, виброакустические характеристики нового зацепления.

Спектр применения зацепления Новикова в странах СНГ и в дальнем зарубежье (Англия, Франция, Япония, Китай, Индия, ...) необычайно широк – тяговые передачи электровозов, тепловозов, троллейбусов, трамваев, угледобывающих машин, редукторы станков-качалок и коробки перемены передач нефтедобывающей промышленности, крановые редукторы, силовые трансмиссии вертолетов, кораблей, боевой техники и т.д.

В бывшем СССР сотни организаций – заводы, ПО, НИИ, учебные заведения проектировали и выпускали редукторы и мультипликаторы с зацеплением Новикова, в том числе в Украине – известные заводы, ПО, НИИ, учебные заведения Харькова, Киева, Луганска, Донецка, Краматорска, Николаев и т.д. Следует подчеркнуть, что пионером промышленного освоения и выпуска зубчатых передач Новикова является Луганский машиностроительный завод им. А.Я. Пархоменко.

В 70-е годы в СССР и в ряде зарубежных стран новое зацепление активно и широко вытесняло традиционные системы зацепления; ряд заводов и ПО изготавливали новые передачи серийно. Так, более 70 % всех редукторов общего назначения, выпускавшихся в СССР, специализированными редукторными заводами, изготавливались с зацеплением Новикова [1, 16, 17]. Вес редукторов был снижен в 1,3 раза. Все станки-качалки изготавливались с зацеплением Новикова, благодаря чему вес редукторов был снижен в 1,3-1,9 раза. Список разительных примеров в пользу нового зацепления можно было бы продолжить [1, 16, 17],

В настоящее же время удельный объем промышленного освоения и выпуска передач с зацеплением Новикова (в странах СНГ) составляет менее 10 % от объема выпуска традиционных силовых эвольвентных передач, в отечественном же тепловозостроении зацепление Новикова «не прижилось». В начале 90-х годов 2-й Московский подшипниковый завод приступил к выпуску первой партии (500 тыс. шт.) роликоподшипников с зацеплением Новикова. Однако помешала «перестройка».

5. На наш взгляд, основными объективными причинами спада интереса к новому зацеплению, наряду с последствиями «перестройки», являются следующие причины.

Во-первых, локализация контакта (в отличие от линейчатого контакта в эвольвентных передачах) и практически полное отсутствие информации о восприимчивости нового зацепления к погрешностям изготовления и монтажа (не говоря об отсутствии соответствующих стандартов по нормам точности и допуска) породили ошибочное мнение о невосприимчивости передач Новикова ко многим технологическим и монтажным погрешностям. И передачи Новикова изготавливали на 1-2 степени менее точно, чем традиционные передачи. В настоящее же время вопрос точности изготовления нового зацепления решен с достаточной полнотой [14]. В частности, в отличие от эвольвентных передач, передачи Новикова весьма чувствительны к так называемым линейным погрешностям (типа погрешности межосевого расстояния) – это одна из причин, по которой новое зацепление «не прижилось» в отечественном тепловозострое-

нии, так как допустимый для эвольвентных передач износ вкладышей традиционных подшипников скольжения оказывается недопустимым для новиковских передач.

Во-вторых, в промышленности применялись несовершенные исходные инструментальные контуры, предназначенные для зубчатых передач Новикова лишь с «мягкими» колесами, которые, тем не менее, успешно конкурировали с улучшенными и твердыми колесами эвольвентных передач. В настоящее же время разработаны модифицированные исходные контуры для улучшенных и твердых колес передач Новикова, показавшие в промышленных условиях еще более высокие технико-экономические характеристики нового зацепления, нежели упомянутые

Выводы. Перспективность и конкурентоспособность зубчатых передач Новикова как тяговых передач, работающих в экстремальных режимах нагружения (в том числе и в абразивных средах) являются очевидными. А переход в тяговых приводах отечественных тепловозов на современные модифицированные и улучшенные зубчатые колеса с зацеплением Новикова, на новиковские роликотподшипники (взамен традиционных подшипников скольжения) в сочетании с переходом на новые конструкции электродвигателей позволили бы поднять отечественные тепловозы на более высокую ступень.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амосин Б.З., Фадеев А.Б. Метод конечных элементов при решении задач геомеханики. – М.: Недра, 1975. – 144 с.
2. Милонов Ю.К. Этюды по истории кинематики механизмов. – М.; Л.: ОНТИ, 1936. – 112 с.
3. Краснощекоев Н.Н., Федякин Р.В., Чеснокова В.А. Теория зацепления Новикова. – М.: Наука, 1976. – 174 с.
4. Новиков М.Л. Новое зацепление для зубчатых передач. – М.: МДНТП, 1959. – 144с.
5. Новиков М.Л. Основные вопросы геометрической теории точечного зацепления, предназначенного для зубчатых передач большой мощности: Дис. ... докт. техн. наук. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1955. – 312 с.
6. А.С. №109113 СССР, Кл. 47/6. Зубчатые передачи, а также кулачковые механизмы с точечной системой зацепления / Новиков М.Л. (СССР): Заявл. 19.04.56, Бюл. изобрет., 1957. – №10. – С. 21-23.
7. А.С. №125979 СССР, Кл. 47. Подшипник качения / Новиков М.Л. (СССР): Заявл. 12.12.57, Бюл. изобрет., 1960. – №3. – С. 5-7.
8. А.С. №188231 СССР, Кл. 47/12. Роликотподшипник / Федякин Р.В., Чесноков В.Д.: Заявл. 15.12.64, Бюл. изобрет., 1966. – №21. – С. 17-19.
9. А.С. №182462 СССР, Кл. 47/6. Зубчатые передачи с точечной системой зацепления и несколькими линиями зацепления / Федякин Р.В., Чесноков В.Д.: Заявл. 20.11.63, Бюл. изобрет., 1966. – №7. – С. 9-11.
10. А.С. №188231 СССР, кл. 47/12. Фрикционная передача / Федякин Р.В., Чесноков В.Д.: Заявл. 15.12.64, Бюл. изобрет., 1966. – №21. – С. 23-24.
11. Булгаков Э.Б. Зубчатые передачи с улучшенными свойствами. – М.: Машиностроение, 1974. – 264 с.
12. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. – М.: Наука, 1968. – 584 с.
13. Коротких В.И., Харитонов Ю.Д. Зубчатые передачи Новикова. – Ростов-на-Дону: РГУ, 1991. – 207 с.
14. Павленко А.В., Федякин Р.В., Чесноков В.А. Зубчатые передачи с зацеплением Новикова. – К.: Техника, 1978. – 144 с.
15. Грибанов В.М., Зубчатые передачи с зацеплением М.Л. Новикова: проблемы точности // Вестник ВУГУ (юбилейный выпуск). – Луганск, 1996. – С. 155-158.

16. Aristotel. *Mechanika prablemata de lineis insecabilibus, de andibilibus, de coloribus, physiognomica, ventorum situs, de plantis, de mirabilibus auditis, de Xenophane Zenove et Gorgia fragments.* – Leipzig, 1832.
17. Leonardo da Vinci. *I Librr de maccanica.* – Milano, 1852.
18. Bostok F.I., Bramley-Moore. *Improvements in and relating to Gear Teeth.* – Pat. №186, 463. – Oct. 2, 1922.
19. Davis F.W. *Gear.* – Pat. №2.261.143. – Nov. 4, 1941.
20. Noreyko N. *Gear Element.* – Pat. №2.421.463. – June 3, 1947.
21. Pigott R.I.S. *Gear tooth spare.* – Pat. №1.909.117. – May 16, 1933.
22. *A Remarkable Gearing System // Flight,* 1954. – June 18.
23. *Gear Experts Debate Merits of Soviet Engineer Findings // Product Engineering,* 1959. – August 31.
24. Roano A. *Ozubena soukoli pro vratny, se spoubovicovymi, zuby, s ossmi rovnobeznymi nebo mirne naklonenymi, pri cemz sklon Zubu Kola jest odtisny od skfome Zubu pastorku.* – Pat. №83732. – 3 legna, 1955.
25. Wildhaber E. *Helical Gearing. USA.* – Pat. №1.601.750. – Oct. 5, 1926.

УДК 539.3:620.1

Решевская Е.С., Тархова В.М., Киричевский Р.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОНИЧЕСКОГО ЭЛАСТОМЕРНОГО ВИБРОИЗОЛЯТОРА

У статті виконано розрахунок зони контакту та осадки конічного віброізолятора при його взаємодії з абсолютно жорсткою плитою. Отримані результати для контакту з абсолютним прослизанням і абсолютним зчепленням.

RESEARCH OF CONTACT INTERACTION OF CONIC ELASTOMERIC BUMPER

In clause are made account of a zone to contact and deposit conic bumper at its interaction with absolute passenger plate. The results for contact with absolute creeping and absolute coupling were received.

При проектировании конструкций с целью повышения их износостойкости вводятся элементы из полимерных материалов, в том числе и эластомеров. Данный материал обладает рядом отличительных особенностей, таких как высокой механической прочностью, эластичностью и слабой сжимаемостью. Для более детального изучения свойств таких элементов требуется применение специальных приемов и методов расчета их напряженно-деформированного состояния.

Применение математического аппарата метода конечных элементов для исследования деталей из слабосжимаемых эластомеров приводит к вырожденности матрицы системы уравнений. Существует несколько классических направлений решения данной проблемы. В работах С. Шарда, Н. Чогеля [1], Р. Пэнна [2], С.И. Дымникова [3] и других предложены различные формы представления упругой энергии деформации для эластомеров. Л.Р. Германом [4], Г. Фондером [5], Т. Пианом [6] и другими разработаны смешанные вариационные принципы, в которых поля перемещений, напряжений и деформаций аппроксимировались независимо друг от друга. О.С. Зенкевич [7], Д. Найлор [8] и другие поля перемещений и величины, учитывающие слабую сжимаемость, аппроксимировали разными функциями.