

В.С. ГАПОНОВ, д.т.н., **В.М. ГРИБАНОВ**, д.т.н.,
А.Ф. КИРИЧЕНКО, д.т.н., **В.П. ШИШОВ**, д.т.н., Луганск,
Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля

ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ С ЗАЦЕПЛЕНИЕМ М. Л. НОВИКОВА: ПРОБЛЕМЫ ТОЧНОСТИ

The problem of Novikov's gearing accuracy current standing and real ways to find a solution of that problem presented.

Введение. Габаритные размеры и металлоемкость господствующих в промышленности эвольвентных зубчатых передач определяется контактной выносливостью активных поверхностей зубьев. В истории развития зубчатых передач было принято много попыток создания систем зацепления [1-3], превосходящих эвольвентную по контактной выносливости. Однако до фундаментальных разработок М. Л. Новикова [4] эти попытки не приводили к необходимому результату.

С тех пор, как в середине 50-х годов появились зубчатые передачи 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 (как по контактной, так и по изломной выносливости), они 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.

Спектр применения зацепления Новикова в странах СНГ и в дальнем зарубежье (Англия, Франция, Япония, Китай, Индия...) необычайно широк: в тяговых передачах электровозов, тепловозов, троллейбусов, трамваев, в угледобывающих машинах, в станках-качалках и в коробках перемены передач нефтедобывающей промышленности, в крановых редукторах, в силовых трансмиссиях вертолетов, кораблей, боевой техники т. д. Известны [5,6] специальные роликподшипники повышенной грузоподъемности, созданные на основе зацепления М. Л. Новикова, грузоподъемность которых в 2,5 ... 3 раза выше грузоподъемности стандартного подшипника.

Не ослабевает и, судя по публикациям, усиливается интерес Англии, Японии, Китая, ряда других стран к зацеплению Новикова. Так, по направлению исследований японских инженеров [7] – гипоидные передачи – можно предположить, что передачи Новикова могут применяться (если уже не применяются) в автомобилестроении. На английский язык переводятся все работы, выходящие в странах СНГ по зацеплению Новикова (напр., [8,9]) и т.д.

Таким образом, принцип образования поверхностей зубьев по М. Л. Новикову продемонстрировал неисчерпаемые возможности нового зацепления, широко применяемого в мировой практике в цилиндрических, конических, червячных, реечных зубчатых передачах; в кулачковых механизмах; в роlikоподшипниках, в роликовых направляющих повышенной грузоподъемности; в шарнирах цепей; в шестеренчатых и винтовых насосах и др.

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, Николаева и т.д. Следует подчеркнуть, что пионером промышленного освоения и выпуска зубчатых передач Новикова является Луганский машиностроительный завод им. А. Я. Пархоменко.

В настоящее время зубчатые передачи и редукторы с зацеплением Новикова на территории бывшего СССР выпускают [15,16]: ЗАО «Луганский машиностроительный завод им. А. Я. Пархоменко» (г. Луганск, Украина), ОАО «Майкопский редукторный завод» (г. Майкоп, Республика Адыгея, Россия), Государственное унитарное предприятие ПО «Сибсельмаш» (г. Новосибирск, Россия), Научно-технологический центр «Редуктор» (г. Санкт-Петербург, Россия), ОАО «Завод Нижегородский Теплоход» (г. Нижний Новгород, Россия), ЗАО «Торговый дом НЕФТЕМАШ» (г. Ижевск, Удмуртская республика, Россия), ОАО «Редуктор» (г. Ижевск, Удмуртская республика, Россия), ОАО «Редукторный завод» (г. Киев, Украина), ОАО «АМУРЛИТМАШ» (г. Комсомольск-на-Амуре, Россия), Усть-Катавский вагоностроительный завод (г. Усть-Катав, Россия) и др.

В дальнем зарубежье [15,16]: научноисследовательские центры NASA совместно с военными центрами и лабораториями армии США финансируют исследования в области зубчатых передач Новикова; материалы Международной конференции по силовым трансмиссиям (MPT 2001 – Fukuoka, Japan) свидетельствуют о постоянно растущем интересе многих стран мира к зацеплению Новикова; Международная программа INTAS финансирует исследования по использованию зацепления Новикова в космических механизмах – в спутниках связи, в орбитальных станциях, в кораблях типа «Шаттл», «Буран», в космических зондах и т.д.

Суть проблемы. В СССР наибольший объем выпуска зубчатых колес с зацеплением Новикова приходится на 70-е годы.

В начале 80-х годов удельный объем выпуска зубчатых колес с зацеплением Новикова начал уменьшаться и, по данным НПО ВНИИ «Редуктор»(ныне АОЗТ НИИ «Редуктор», г. Киев), в 1987-1988 гг. достиг 10-12%, после чего вновь стал увеличиваться.

Спад в 80-е годы интереса к новому зацеплению объясняется тем, что к концу 70-х годов наряду с положительными результатами имели место и результаты, не давшие ожидаемого эффекта и породившие, тем самым, довольно распространенное (хотя и не вполне обоснованное) мнение о нецелесообразности применения зацепления Новикова в отдельных областях производства.

Упомянутое мнение – следствие ряда объективных и субъективных причин, сопутствовавших процессу освоения и выпуска зубчатых передач Новикова.

А именно, с первых шагов эйфорическое стремление ускоренно получить существенное увеличение нагрузочной способности и ресурса редукторов и мультипликаторов на фоне неотработанной технологии изготовления новых зубчатых передач, при отсутствии методик геометрического и прочностного расчетов, при почти полном отсутствии средств контроля их производства и методик оценки качества изготовления зубчатых колес и передач, при отсутствии норм точности и допусков на изготовление и монтаж нового зацепления и т.д.

Более того, располагая малоинформационными теоретическими и экспериментальными данными о восприимчивости зацепления Новикова к погрешностям изготовления и монтажа и исходя из того, что передачи Новикова – это передачи с первоначально точечным контактом, разработчики и изготовители передач длительное время руководствовались заведомо ложной гипотезой о том, что передачи Новикова менее восприимчивы к погрешностям, чем эвольвентные передачи, у которых контакт зубьев – линейный. Накопленный же опыт изготовления и эксплуатации, теоретические и экспериментальные исследования точности изготовления и монтажа зубчатых передач с новым зацеплением привели к выводам, значительно отличающимся от взглядов 60-х и 70-х годов.

А именно [14], передачи Новикова, будучи, в среднем, столь же восприимчивыми к погрешностям, что и аналогичные эвольвентные передачи, обладают, в то же время, существенно иной функциональной зависимостью их работоспособности от погрешностей, следовательно, формальное использование (как это принято до настоящего времени) стандартов на допуски эвольвентных колес и передач при изготовлении зубчатых колес и передач Новикова – в лучшем случае малоэффективно.

Причина медленного промышленного освоения прогрессивного конкурентоспособного зацепления – в отсутствии, либо в недостаточной разработанности нормативно-технической документации по передачам Новикова на государственном уровне. В том числе, практически нет официальной регламентирующей документации (ГОСТов, ОСТов, РД и др.) по точности их изготовления.

В настоящее время лишь для цилиндрических косозубых передач Новикова с исходным контуром по ГОСТ 15023-76, разработанном в конце 50-х годов для «мягких» колес, существуют ориентировочные допуски и рекомендации НПО ЦНИИТМАШ начала 60-х годов; ГОСТ 16771-81 и ГОСТ 18692-73 – стандарты на червячные фрезы для передач с упомянутым исходным контуром.

Известны также допуски ОСТ 105-1110-85 для цилиндрических передач с исходным контуром ОСТ 105-1109-85.

Однако перечисленные руководящие документы, являясь единственными в своем роде, далеко не в полной мере отражают современные тенденции в нормировании точности зубчатых передач.

Более того, упомянутые допуски и рекомендации не распространяются на исходные контуры нового поколения, предназначенные для твердых и улучшенных передач Новикова [10-13].

Для конических передач Новикова подобного рода стандарты – отдаленная перспектива.

О гипоидных передачах и цилиндрических передачах Новикова с арочными зубьями в этом плане говорить пока не приходится.

В связи с изложенным, одна из проблем, которую вынужден решать изготовитель передач Новикова, связана с выбором контролируемых параметров и с назначением допусков зубчатых колес, передач и зуборезного инструмента. При этом поиск оптимального варианта допусков затягивается на многие годы и осуществляется, главным образом, методом «проб и ошибок» при уже выпускающейся продукции.

Для сравнения: например, в Китае лишь по точности изготовления действует, по крайней мере, четыре государственных стандарта – GB 2840-81, GB 3913.1-85, GB 3913.2-85, GB 4021-85 на твердые передачи Новикова с исходным контуром, близким по геометрии к исходным контурам, разработанным в бывшем СССР. При разработке упомянутых стандартов использованы результаты исследований инженеров и ученых стран СНГ.

Таким образом, разработка норм точности и допусков для зацепления М. Л. Новикова на уровне государственных нормативных документов – актуальная научно-техническая проблема, стоящая перед исследователями и учеными.

Предпосылки решения проблемы. До своего распада СССР являлся ведущей державой в области исследования точности механизмов и машин. В том числе по точности зацепления Новикова выполнено значительное количество работ теоретического и экспериментального характера (см., напр., [1,8-14]). При этом в течение десяти лет (1981-1990 гг.) исследования проводились на основании решения и под эгидой Координационного совета Минстанкопрома СССР по проблеме внедрения передач Новикова, функционировавшего при НПО «ВНИИредуктор» (г. Киев), на основании «Программы стандартизации по надежности, прочности и износостойкости зубчатых передач» на 1981-1985 гг. и на период до 1990г., утвержденной Постановлением Госстандарта N 139 от 1.10.81г., а также в соответствии с

Координационным планом ЦП ВНТО машиностроителей на 1981-1985 гг. и на период до 1990 г.

Основные результаты исследования, имеющие научную новизну и практическую значимость формулируются так [14]:

- построена математическая модель реальной зубчатой передачи, включающая системы расчетных уравнений и аналитико-вероятностные и числовые алгоритмы вычисления координат точек контакта зубьев, кинематической погрешности передачи и спектра ее частотных составляющих, других качественных показателей работоспособности;

- разработан метод для исследования влияния погрешностей на упомянутые показатели с учетом деформаций и случайного проявления погрешностей;

- исследована точность цилиндрических косозубых и с арочными зубьями, а также конических передач Новикова с круговыми зубьями. Выявлены несущественные и доминирующие погрешности, степень и характер их влияния на контакт зубьев, кинематическую точность и плавность работы, на локальную кинематику и гидродинамику;

- разработаны критерии и методика расчета допусков;

- рассчитаны допуски зубчатых цилиндрических и конических передач Новикова с различными исходными контурами;

- рассчитаны допуски червячных фрез и зуборезных головок с различными исходными контурами.

На основании изложенного разработаны проекты государственных стандартов:

- «Передачи Новикова зубчатые цилиндрические с двумя линиями зацепления. Допуски» (распространяется также и на передачи с арочными зубьями; проект проходил 2-ю редакцию как РД Минстанкопрома СССР);

- «Передачи Новикова зубчатые конические с двумя линиями зацепления. Допуски»;

- «Фрезы червячные чистовые однозаходные для цилиндрических зубчатых колес передач Новикова с двумя линиями зацепления. Допуски»;

- «Головки зуборезные для зубчатых колес передач Новикова с двумя линиями зацепления. Допуски».

Упомянутые материалы доложены, обсуждены и получили положительную оценку на многочисленных научно-технических семинарах, конференциях, симпозиумах. По результатам исследования заинтересованным организациям и заводам представлены справки, рекомендации, критерии и методики расчета допусков, а также таблицы допусков на параметры колес, передач и зуборезного инструмента, которые внедрены в практику отдельных предприятий.

Так, рекомендации, изложенные в отчете по обоснованию влияния точности передач на их нагрузочную способность, учтены НПО ВНИИредуктором при разработке РД 2Н24-11-88 [10]; расчетные методики и таблицы допусков используются в Ижевском ПО «Редуктор», на Николаевском Черноморском судостроительном заводе, на Харьковском

машиностроительном заводе «Свет шахтера», в Харьковском ПО «Завод им. Малышева», на Луганском машиностроительном заводе им. А. Я. Пархоменко и др.

В связи с распадом СССР Координационный совет Минстанкопрома прекратил свое существование, а изложенные разработки так и не получили (как было предусмотрено Координационным планом) своего логического завершения в виде Руководящих документов и Госстандартов по точности зацепления М. Л. Новикова.

Разработки все еще остаются невостребованными.

В заключение. Значимость зубчатых передач Новикова как альтернативы традиционным эвольвентным зубчатым передачам выдвигает в ряд важнейших научно-технических проблем завершение исследований и издание на государственном уровне соответствующей нормативно-технической документации, в том числе по точности изготовления альтернативных передач.

Назрела пора воссоздания Координационного совета по проблемам внедрения передач Новикова, который смог бы объединить усилия заинтересованных министерств, ведомств, заводов, научно-исследовательских центров и учебных заведений Украины.

Допускать отставание Украины с ее солидным научно-техническим потенциалом в этом приоритетном направлении больше нельзя. Есть все основания полагать, что Украина сможет быстро войти в число стран-лидеров в деле более фундаментального промышленного освоения на современном научно-техническом уровне перспективного и конкурентоспособного зубчатого зацепления при соответствующем решении этого вопроса на государственном уровне.

Список литературы: 1. *Литвин Ф. Л.* Теория зубчатых зацеплений. - М.: Наука, 1968.-584 с. 2. *Будыка Ю. Н.* Теория зацепления и сравнительная износоустойчивость плоских зацеплений общего вида//Тр.семина по теор.машин и механ.- 1951. – вып.39 –т.10 – с.56-74. 3. Пат. 1601750 США Helical gearing/Wildhaber *EJ*1926. 4. *Новиков М.Л.* Зубчатые передачи с новым зацеплением. - М.: ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1958. – 186 с. 5. Авт.св. N 125979, кл. 47, 12, заявл. 15.12.64.- Роликотоподшипник/ Федякин Р.В., Чесноков В. А.// Россия: Бюллетень изобретений.-1966. N 21. 6. *Matsuyama T.* Eine Erweiterung der Noviol-Verzahnung auf Zahnradern mit gekreuzten Achsen // VDI-Berichte. - 47. - 1961. - S. 24-25. 8. *Gribanov V. M., Shved O. P.* Local Kinematics and Some Aspects of Hydrodynamics of Novicov Spur Gearing with Hard Tooth Surfaces when there are Production and Assembly Errors// Sov.Eng.Res.-1985.-N3-P.8-9. 9. *Gribanov V. M., Kuchma V. Y.* The Influence of Manufacturing and Assembly Errors on the Work Capacity Indexes of Bevel Novicov Gear transmissions// Sov.Eng.Res.-1986.-N4.-P.4-5. 10. РД2 Н24-11-88. Передачи Новикова цилиндрические ДЛЗ с твердостью зубьев 35 HRCэ и более. Исходный контур//Руководящий документ по стандартизации. – М. –К.: 1989.-36. 11. *Краснощеков Н. Н., Федякин Р. В., Чесноков В. А.* Теория зацепления Новикова. - М.: Наука, 1976. - 176 с. 12. *Павленко А. Ф., Федякин Р. В., Чесноков В. А.* Зубчатые передачи с зацеплением Новикова, К.: Техника, 1978. - 144 с. 13. *Короткин В. М., Харитонов Ю. Д.* Зубчатые передачи Новикова. – Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского университета, 1991. - 208 с. 14. *Грибанов В. М.* Теоретические основы точности и разработка допусков зубчатых передач с зацеплением Новикова. – Дисс. докт. техн. наук. Луганск: ЛМСИ, 1990. – 410 с. 15. *Гапонов В.С., Грибанов В.М., Кириченко А.Ф., Шишов В.П.* Зубчатые передачи

Новикова – вчера, сегодня, перспективы развития// Вісник Східноукраїнського національного університету. - 2000. - №9(31).- Частина друга. – С. 98-102. 16. *Гапонов В.С., Грибанов В.М., Кириченко А.Ф., Шишов В. П.* Зубчатые передачи Новикова выходят в космос// Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.-2002.-№3(49).-С.7-9.