

**В.Н. ВЛАСЕНКО** Киев, АОЗТ «НИИ «Редуктор»

**В.М. ФЕЙ**, Киев, АОЗТ «НИИ «Редуктор»

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ С ПЕРЕДАЧАМИ НОВИКОВА**

Сучасні стан та перспективи розвитку механічних приводів загального машинобудівельного застосування з передачами Новикова.

The modern state and prospects of development of mechanical drives for general engineering with the Novikov transmissions.

Дискуссия по статье [1] показала бессосновательность обсуждения вопроса о целесообразности дальнейшего существования передач Новикова в механических приводах общемашиностроительного применения (МП ОМП), поскольку редукторы с передачами Новикова широко применяются во многих отраслях промышленности, показывая высокие показатели прочности и долговечности.

Это всем известные и широко применяемые в промышленности цилиндрические редукторы ЦОН-160, ЦОН-200, ЦОН-250, ЦДН-25, ЦДН-35, ЦДН-40, ЦДН-50, Ц2УН-100, Ц2УН-125, Ц2УН-160, Ц2УН-200, Ц2УН-250, мотор-редукторы 1МЦ2С-63Н, 1МЦ2С-80Н, 1МЦ2С-100Н, 1МЦ2С-125Н Киевского опытно-показательного редукторного завода; РЦД-250, РЦД-350, РЦД-400, 1Ц2У-250, 1Ц3У-250 Ижевского ПО «Редуктор»; 1Ц2У-315, 1Ц2У-355, 1Ц2У-400, 1Ц2Н-450, 1Ц2Н-500, 1Ц2Н-630, 1Ц3У-315, 1Ц3У-355, 1Ц3У-400, 1Ц3Н-450, 1Ц3Н-500, 1Ц3Н-630, 2Ц2-125Н, 2Ц2-160Н, 2Ц2-200Н, 2Ц2-250Н, 2Ц2-280Н, 2Ц3-125Н, 2Ц3-160Н, 2Ц3-200Н, 2Ц3-250Н, 2Ц3-280Н Майкопского редукторного завода; ЦДНД-200, ЦДНД-315, ЦДНД-400, ЦТНД-315, ЦТНД-400, ЦТНД-500 Луганского машиностроительного завода им. Пархоменко; ЦДН-630, ЦДН-710 ОАО «Днепротяжмаш» и др.

За годы серийного производства этими предприятиями выпущено более 5 млн. шт. редукторов с передачами Новикова. Редукторы имеют устойчивый спрос и выпускаются в настоящее время не только специализированными предприятиями, но и рядом новых предприятий такими как МП «Редуктор-сервис», ООО "Компания "РЕН", НПФ «Гидромаш» и др.

Только разработка гаммы редукторов с передачами Новикова средней твердости (взамен применения эвольвентных зубчатых передач, изготавливаемых из высоколегированных сталей, подвергаемых термической и химико-термической обработке до твердости 57...62 HRCэ) выполненная ВНИИредуктором в кратчайшие сроки с обеспечением установленных технических характеристик редукторов обеспечила своевременный ввод в действие Майкопского редукторного завода и закрытие потребности народного хозяйства в крупных редукторах массой более 500 кг.

С момента их освоения редукторы дважды подвергались модернизации с повышением их технических и эксплуатационных характеристик и экономических показателей.

Внедрение передач Новикова в редукторы РЦД-250, РЦД-350, РЦД-400 Ижевского опытно-показательного редукторного завода (ныне ОАО «Редуктор») позволило снизить требования к материалу, термической обработке и твердости зубчатых передач при установленных нагрузках и показателях надежности, обеспечить выпуск сотен тысяч редукторов, остро необходимых промышленности.

Следующий этап в совершенствовании МП ОМП был связан с разработкой и внедрением Общесоюзных типажей редукторов и мотор-редукторов общего назначения на 1981-1990 г.г. и 1991-2005 г.г., которыми были поставлены задачи дальнейшего повышения технического уровня, качества и надежности, соответствие их современному мировому уровню.

На первом этапе была проведена модернизация всего ряда цилиндрических редукторов с повышением нагрузок в 1,25 – 1,6 раза при сохранении габаритных и присоединительных размеров, массы редукторов, а также технологии их производства, успешно реализованная на всех специализированных заводах.

На втором этапе ставилась задача достижения самого высокого мирового уровня с созданием широко развитой номенклатуры редукторов, мотор-редукторов и приводов, построенной по блочно-модульному принципу, обеспечивающему высокий уровень унификации за счет конструктивной, силовой, кинематической и эксплуатационной преемственности.

На этом этапе в нашем институте был проведен анализ тенденций развития зарубежного редукторостроения, оценка его технического уровня, надежности и технологии производства; продолжены работы по исследованию и выбору материала и химико-термической обработке зубчатых колес, виду зацепления цилиндрических и червячных передач, методам расчета на прочность, нормам точности и др. с привлечением ведущих организаций и специалистов страны.

В 90-е годы в рамках Координационного совета по передачам Новикова высокой твердости, в состав которого входили более 20 известных ученых и специалистов из 12 организаций (ВНИИредуктор, Санкт-Петербургский военно-механический институт, Орловский технический университет, Краматорский НИИПТМАШ, Ростовский государственный институт, Ижевский механический институт, Ижевское ПО

«Редуктор», Курганский машиностроительный институт, Харьковский политехнический институт, Киевский опытно-показательный редукторный завод, Майкопский редукторный завод, ОАО «Донецкгормаш»), были завершены работы по оптимизации исходного контура.

Исследованиям были подвергнуты зубчатые передачи Новикова с исходными контурами по ГОСТ 15023-76, ДЛЗ-0,7-0,15, ДЛЗ-1,0-0,15, РГУ-1, РГУ-5, имеющие следующие параметры  $a_w = 160$  мм,  $m_n = 3,15$ ;  $z_1 = 32$ ,  $z_2 = 65$ ,  $\beta = 17^\circ 17' 02''$ ,  $B = 40$  мм, материал – сталь 25ХГМ, термообработка – нитроцементация, твердость 56...62 HRCэ.

Испытания проводились по программам и методикам ускоренных испытаний на предельную нагрузку, одобренных Координационным советом, с последующей статистической обработкой результатов для выявления допустимых нагрузок при заданной степени вероятности неразрушения зубьев. Все зубчатые колеса перед испытаниями подвергались контролю и паспортизации.

В нашем институте проведены сравнительные испытания зубчатых передач с исходными контурами ДЛЗ-0,7-0,15 и ДЛЗ-1,0-0,15, а в лаборатории зубчатых передач Санкт-Петербургского военно-механического института были проведены испытания передач с исходным контуром по ГОСТ 15023-76, изготовленных из стали 15ХГТ с последующей цементацией и закалкой до 56...62 HRCэ и из стали 40Х, подвергнутых азотированию до твердости 52-58 HRCэ.

Ижевским ПО «Редуктор» при непосредственном участии зав. лабораторией НИИМ и ПМ Ростовского государственного университета Короткина В.И. были проведены испытания передач Новикова с исходными контурами РГУ-5А, РГУ-5Б и эвольвентных передач с исходным контуром по ГОСТ 13755-81.

Наибольшую нагрузочную способность по изгибной прочности показали передачи с исходными контурами ДЛЗ-0,7-0,15, РГУ-5. Однако контур ДЛЗ-0,7-0,15 оказался слабее по контактной выносливости: при испытаниях был зафиксирован питтинг при наработке ниже базового числа циклов.

Одновременно с комплексом испытаний теоретически исследовались напряженно-деформированное состояние и нагрузочная способность зубчатых передач (Санкт-Петербургский военно-механический институт,

ВНИИредуктор, Орловский технический университет, НИИМ и ПМ Ростовского государственного университета, НИИТМ, Ижевское ПО «Редуктор»), технологичность их изготовления (ВНИИредуктор, Ижевское ПО «Редуктор», Майкопский редукторный завод), норм точности (ВНИИредуктор, Луганский машиностроительный институт, Ижевский механический институт, Ижевское ПО «Редуктор») в результате которых для стандартизации Координационным советом был рекомендован исходный контур КС.

Контур КС базируется на контуре РГУ-5А, прошедшим наибольшую экспериментальную проверку в режиме ускоренных испытаний с высокими нагрузками и длительных испытаний, и показавший нагрузочную способность в 1,3-1,4 выше эвольвентных передач по изгибной прочности и в два с лишним раза – по контактной прочности.

Результаты сравнительных испытаний передач на базе контура КС показали, что эти передачи имеют наиболее сбалансированную нагрузочную способность по основным критериям – поверхностной и глубинной контактной прочности, выносливости при изгибе при наименьшей чувствительности к погрешностям изготовления и монтажа.

В настоящее время исходный контур передач Новикова высокой твердости запатентован и действует в качестве межгосударственного стандарта ГОСТ 30224-96 «Передачи зубчатые Новикова цилиндрические с твердостью поверхности зубьев не менее 35HRCэ. Исходный контур».

Разработанные в рамках Координационного совета методические рекомендации по расчету на прочность передач Новикова в т.ч. с зубьями высокой твердости имеют достаточно высокую сходимость с экспериментальными данными.

Технологически нарезание и термическая обработка зубчатых колес с исходным контуром по ГОСТ 30224-96 ничем не отличается от зубчатых колес с другими исходными контурами.

По мере накопления опыта производства зубчатых передач Новикова высокой твердости без применения шлифования зубьев параллельно должны проводиться работы по методам финишной обработки зубьев и контролю зубчатых колес и передач.

Передачи Новикова в течение многих лет эксплуатации показали повышенную работоспособность при средней твердости зубьев. Дальнейшим существенным шагом увеличения нагрузочной способности

1	2	3	4	5
Технические характеристики	3МЦ2С-63Н (пер.Нов.У) АОЗТ НИИ Редуктор.	4МЦ2С-63 (эв.пер.ТШ) ПЗМП Россия 2006	R57DT 90S4 (эв.пер.ТШ) SEW EVRO	D40A 90S4 (эв.пер.ТШ) Flender Германия

	Украина 2006		DRIVE Германия 2006	2006
Мощность, кВт	1,1	1,1	1,1	1,1
Частота вращения выходного вала, об/мин	56	56	56	54
Крутящий момент на выходном валу, Н·м	180	180	180	180
Масса, кг	22,7	27	33	28
Габаритные размеры L×B×H, мм	520 × 185 × × 265	517 × 185 × × 265	526 × 190 × × 187	516 × 190 × × 195
Удельная масса, кг/Н·м	0,126	0,150	0,183	0,155
КПД редуктор- ной части	0,98	0,97	0,97	0,97

Таблица 1  
Сравнение технического уровня цилиндрических двухступенчатых  
мотор-редукторов с передачами Новикова с лучшими зарубежными образцами

6	7	8	9	10
3МЦ2С-100Н (пер.Нов.У) АОЗТ НИИ Редуктор Украина 2005	4МЦ2С-100 (эв.пер.ТШ) ПЗМП Россия 2006	R87DT 112М4 (эв.пер.ТШ) SEW EVRO DRIVE Германия 2006	D81A 112М4 (эв.пер.ТШ) Flender Германия, 2006	SK42 112М4 (эв.пер.ТШ) Nord Германия 2006
4	4	4	4	4
56	56	51	56	60
670	670	625	660	637
81	81	90	97	86
675 × 260 × × 380	675 × 270 × × 380	712 × 290 × × 295	701 × 290 × × 375	719 × 250 × × 327
0,12	0,12	0,144	0,147	0,135

0,98	0,97	0,97	0,97	0,97

Условные обозначения:

У – твердость зубьев 262...302 НВ

ТШ – твердость поверхности зубьев HRCэ 57...62, – зубья шлифованные

1	2	3	4	5
Технические характеристики	2Ц2У-160Н (пер.Нов.У) НИИред. Украина 2006	1Ц2У-160 (эв. пер Т) ПО «Редуктор» Россия 1986	5Ц2-125 (эв.пер.ТШ)/ 6Ц2-125 (пер.Нов.Т) 1995/2000 НИИ редуктор	H23 (эв.пер.ТШ) Flender Германия, 2006
Межосевое расстояние, мм	260	260	225	220
Диапазон передаточных чисел	8 – 40	8 – 40	8 – 40	8 – 22,4
Крутящий момент на вых. валу, Н·м	1600	1250	2000/2500	2470
Масса, кг	57/95	57/95	75	110
Габаритные размеры, L×B×H, мм	545 × 195 × × 335	545 × 195 × × 335	495 × 255 × × 310	500 × 220 × × 360
Удельная масса, кг/Н·м	0,035/ 0,059	0,045/ 0,076	0,038/ 0,030	0,045
КПД	0,98	0,97	0,97/0,98	0,97

Таблица 2  
Сравнение технического уровня цилиндрических двухступенчатых редукторов с передачами Новикова с лучшими зарубежными образцами

6	7	8	9
1Ц2Н-500 (пер.Нов. У)	2Ц2Н-500 (пер.Нов.У) НИИред.	5Ц2-400 (эв.пер.ТШ)/ 6Ц2-400	H214 (эв.пер.ТШ) Flender,

Россия, 1986	Украина 2006	пер.Нов.Т НИИред. Украина 1995/2000	Германия 2005
815	815	680	705
8 – 50	8 – 50	8 – 40	8 – 28
50000	60000	72000/ 80000	71000
2100	2100	1900	2350
1650 × 650 × × 1055	1650 × 650 × × 1055	1370 × 550 × × 850	1460 × 550 × × 900
0,042	0,035	0,026/ 0,024	0,027
0,98	0,98	0,97/0,98	0,97

передач Новикова является повышение твердости их зубьев («миф» о плохой прирабатываемости зубьев высокой твердости опровергается многочисленными экспериментальными и эксплуатационными данными). Резервом еще большего увеличения нагрузочной способности передач Новикова независимо от твердости зубьев является рациональный выбор геометрических параметров и увеличение модуля передачи.

В 1995-2004 г.г. институтом при участии Ижевского ПО «Редуктор» и зав. лабораторией РГУ Короткина В.И. были разработаны ряды цилиндрических редукторов серии 5Ц с эвольвентными передачами и 6Ц с передачами Новикова высокой твердости.

В таблицах 1 и 2 приведены сравнительные данные технического уровня цилиндрических редукторов и мотор-редукторов с передачами Новикова и эвольвентными передачами, выпускаемых предприятиями Украины, России и Германии. Разработчиком конструкции и технической документации редукторов Украины и России является АОЗТ «Научно-исследовательский институт «Редуктор», г. Киев.

Как видно из таблицы 1 технический уровень мотор-редукторов даже с улучшенными передачами Новикова не уступает лучшим мировым образцам Германии с твердыми эвольвентными передачами, подвергаемыми финишной обработке зубьев после химико-термической обработки.

Из таблицы 2 следует, что технический уровень редукторов 1Ц2У и 1Ц2Н по удельной массе несколько ниже редукторов 2Ц2У, 2Ц2Н с улучшенными передачами Новикова по ГОСТ 30224-96 в (1,2 – 1,2 раза) и в 1,5 – 1,7 раза ниже редукторов 5Ц2, 6Ц2 (Украина, Россия) и Н2 (Германия); редукторы 5Ц2 находятся на уровне редукторов Н2 (Германия), а редукторы 6Ц2 с твердыми передачами Новикова превышают лучшие зарубежные аналоги в 1,2-1,4 раза.

Кроме показателей технического уровня в немалой степени характеризует конкурентоспособность продукции ее цена. Для сравнения данные о средней стоимости мотор-редуктора 3МЦ2С-100Н (Украина) и аналогичного изделия R87DT112М4 (Германия) приведены в таблице 3.

Таблица 3

Характеристики	3МЦ2С-100Н	R87
Крутящий момент на выходном валу, Н·м	670	625
Частота вращения выходного вала, об/мин	56	51
Мощность двигателя, кВт	4	4
Масса, кг	81	90
Цена, грн	2240	8944

Цена зарубежного аналога мотор-редуктора 3МЦ2С-100Н в 3,993 раза выше, производимого в Украине.

Производство современных МП ОМП с передачами Новикова успешно осуществляется многими предприятиями стран СНГ, что является лучшим ответом автору статьи [1].

**Список литературы:** 1. Г.А. Журавлева «Ошибочность физических основ зацепления Новикова как причина ограниченности его применения», журнал «Редукторы и приводы», №1, 2006, с. 31-45, Санкт-Петербург.

*Поступило в редакцию 20.04.2007*