

ВЕРНЕМ КОСМИЧЕСКУЮ ТЕХНИКУ И ТЕХНОЛОГИИ РОССИЙСКИМ ПОТРЕБИТЕЛЯМ РЕДУКТОРОВ И МОТОР-РЕДУКТОРОВ!

В настоящей подборке материалов речь пойдет о волновых передачах, волновых редукторах и мотор-редукторах, разработанных российскими учеными еще в доперестроечное время и внедренных в последующем в серийное производство. Эти передачи и редукторы, минимизированные по габаритам и массе, способны передавать повышенные крутящие моменты в широком диапазоне передаточных чисел, обладают способностью точного позиционирования и рядом других эксплуатационных преимуществ. Именно в силу своих достоинств волновые редукторы нашли широкое применение в космической и военной технике в нашей стране и США.

Однако в постперестроечный период, на фоне массивной рекламы дешевого редукторного ширпотреба, в первую очередь, зарубежного, а также из-за неосведомленности потребителей, отдающих предпочтение технически устаревшей, но предельно дешевой продукции, применение перспективных для российской промышленности передач и редукторов

стало сокращаться, а многие интересные наработки в этой области оказались забытыми или даже вовсе неизвестными.

Мы считаем, что столь выдающееся достижение российской редукторной науки и техники, каковым является разработка волновых редукторов и мотор-редукторов, не должно кануть в Лету. Этот вопрос требует повышенного внимания и со стороны министерских чиновников, ограничивающихся пока лишь риторикой об интеллектуальном превосходстве России и ее научных заделах для становления конкурентоспособной промышленности на основе новых технологий, и со стороны технической общественности, представляющей ряд промышленных отраслей России: аэрокосмическую, военную, станкостроительную, робототехническую и другие.

На сегодняшний день НТЦ «Редуктор» – пожалуй, единственный российский производитель, самостоятельно освоивший производство всех выпускавшихся ранее в стране типовых размеров волновых мотор-редук-

торов и продолжающий расширять этот модельный ряд. Однако усилий одного предприятия явно недостаточно для широкого производства конкурентоспособной отечественной редукторной техники, для успешного развития редукторной отрасли в целом. Тем более, что принципиальных трудностей в освоении их производства нет, поскольку уровень разработок волновых передач и редукторов в России был доведен до стандартных инженерных расчетов [1] и государственного стандарта [2].

Предоставляем слово представителям двух научных школ, двух научных коллективов, которые были и остаются пионерами в данной области.

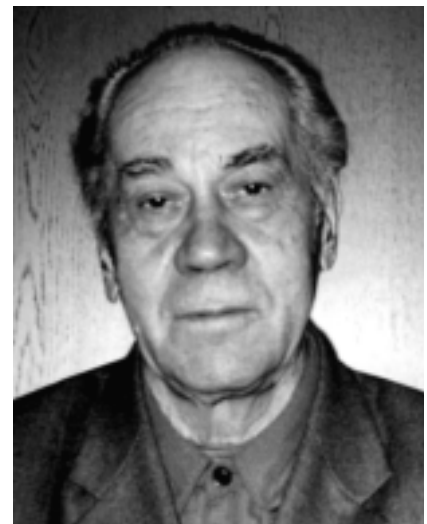
БИБЛИОГРАФИЯ:

1. Волновые передачи (Рекомендации по инженерным расчетам) / ВНИИРедуктор, МВТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: ВНИИТЭМР, 1986. – 72 с.
2. ГОСТ 26218–94. Редукторы и мотор-редукторы волновые зубчатые. Параметры и размеры. Межгосударственный стандарт. – Введ. с 01. 07. 1996.

ВОЛНОВЫЕ ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Б.М. Борзилов, к. т. н.
старший научный сотрудник

Изобретение волновой зубчатой передачи – закономерный результат технического прогресса. Известно, что с увеличением расчетной скорости вращения ротора двигателя уменьшаются его размеры и масса. Вместе с тем машины, оснащенные быстроходными двигателями, нуждаются в легких и малогабаритных механизмах с высоким передаточным отношением. Поиск такого механизма привел к открытию волновых передач. Однако эти передачи медленно заполняют свою нишу среди традиционных передач. Возможно, что одна из причин явления кроется в недостаточной популяризации сравнительно нового типа передач.



Прототипом волновых передач являются планетарные механизмы типа k-h-v (рис. 1). Преобразование механизма, состоящее в замене сателлита гибким звеном (рис. 2), позволило сохранить большое передаточное отношение исходного механизма и привело к дополнительным эффектам:

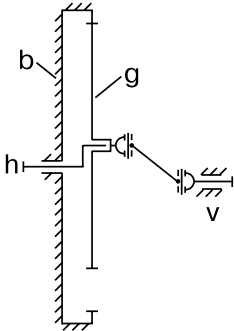


Рис. 1. Планетарная передача k-h-v:
b – центральное колесо,
g – сателлит, h – водило

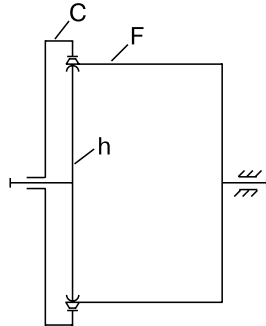


Рис. 2. Волновая передача:
C – жесткое колесо,
F – гибкое колесо,
h – генератор волн деформации

- образованию двух (и больше) зон зацепления и уменьшению нагрузок, действующих в каждой зоне;
- исключению устройства, осуществляющего компенсацию несоосности водила и сателлита;
- увеличению числа пар зубьев в зацеплении;
- разгрузке опор водила и сателлита от сил, действующих в зонах зацепления.

Среди большого числа передач различных конструктивно-компоновочных схем наиболее совершенной представляется передача, оснащенная эллиптическим генератором волн деформации с гибким подшипником. Схема такой передачи показана на рис. 3.

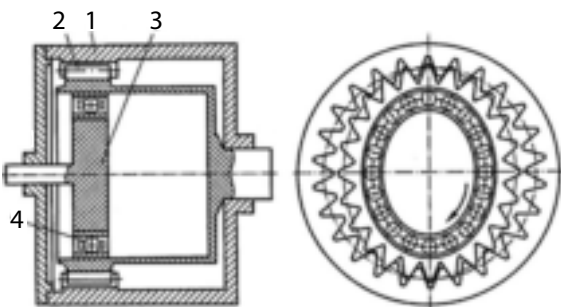


Рис. 3. Схема волновой передачи:
1 – жесткое колесо,
2 – гибкое колесо,
3 – генератор волн деформации,
4 – гибкий подшипник

Волновые передачи обладают рядом достоинств, выгодно отличающих их от иных передач. Многопарность зацепления, достигающая 40 % от числа зубьев колеса, обеспечивает высокую нагрузочную способность передачи и, как следствие, ее малые габариты и массу. Одним из показателей конструктивного совершенства редукторов может служить отношение массы редуктора к крутящему моменту на его выходном валу. Этот

параметр у волновых передач в два раза меньше, чем у планетарных. Кроме того, многопарность зацепления благоприятно сказывается на кинематической точности передачи. У некоторых передач кинематическая точность составляет 0,5–1,0 угловой минуты. Волновые передачи обладают большим передаточным отношением в одной ступени (80–300). Кпд зацепления, изменяющийся в зависимости от передаточного числа в пределах от 0,7 до 0,9, сопоставим с кпд соответствующей планетарной передачи. Волновые передачи сохраняют работоспособность в широком диапазоне нагрузок. Величина крутящего момента, передаваемого гибким колесом, в зависимости от размера наружного диаметра гибкого подшипника изменяется от 15 до 26 000 Н·м.

Естественно, что волновым передачам свойственны и недостатки, к которым следует отнести ограниченную быстроходность гибкого подшипника (2000...6000 мин⁻¹), большой продольный размер гибкого колеса, ограниченный уровень предельной мощности, развиваемой передачей (~ 60 кВт), большое значение минимально возможного передаточного числа ($i_{\min} = 80$), сравнительную сложность изготовления гибкого колеса и генератора волн. Следует отметить, что при серийном производстве технологические трудности в изготовлении конструктивных элементов передачи могут быть устранены применением соответствующей оснастки, а надлежащая компоновка передачи позволит рационально использовать внутреннюю полость гибкого диска.

Работоспособность волновых передач определяется прочностью гибкого колеса, долговечностью гибкого подшипника, жесткостью генератора волн деформации и жесткого колеса. В настоящее время разработаны достаточно надежные методики оценки усталостной прочности гибкого колеса и динамической грузоподъемности гибкого подшипника. Существуют рекомендации по выбору геометрических параметров конструктивных элементов, обеспечивающих надлежащую работоспособность передачи.

Оценивая достоинства и недостатки волновых передач, следует заключить, что областью их рационального применения являются приводы с большим передаточным отношением и умеренным (до 60 кВт) уровнем развиваемой мощности.

Представляется, что к этой категории прежде всего относятся бортовые приводы летательных аппаратов, так как сочетание волновых передач с быстроходными электрическими двигателями обеспечивает получение компактных и легких агрегатов. Многообразное применение подобных приводов предполагает широкий диапазон их параметров. В этой связи целесообразна разработка нормализованных рядов редукторов. В основу одного из таких рядов положена последовательность передаточных отношений от 400 до 40 000 с параметром ряда $q = 1,6$. Крутящие моменты на выходном валу редукторов изменялись в пределах от 10 до 1000 Н·м. Расчетная продолжительность работы ре-

дукторов составляла 2500 часов. Частота вращения ротора электродвигателей принималась равной 4000 мин^{-1} . Кинематическая схема редукторов представляла комбинацию волновых и цилиндрических зубчатых передач. В волновых передачах применялись гибкие подшипники с диаметрами от 42 до 160 мм.

Были изготовлены и испытаны редукторы трех типоразмеров ($D=62; 120$ и 160 мм). На рис. 4 показана конструкция, а на фото 1 – внешний вид одного из редукторов. Испытания редукторов подтвердили их работоспособность.

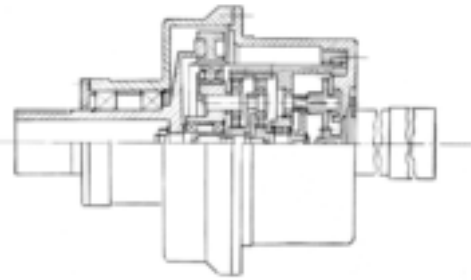


Рис. 4. Конструкция волнового редуктора

В последующем некоторые из редукторов ряда успешно применялись на летательных аппаратах.

Такие качества волновых передач, как низкая материалоемкость, компактность, небольшое число применяемых деталей, возможность совместной работы с быстроходными и, следовательно, малогабаритными электрическими двигателями обуславливают малую стоимость волновых приводов, что, в свою очередь, определяет их привлекательность для применения в различных технических отраслях. Об этом свидетель-

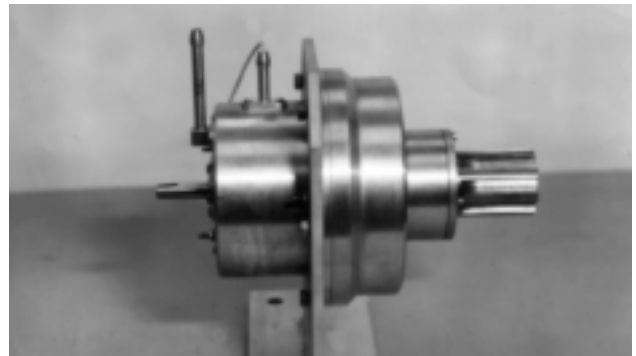


Фото 1. Внешний вид волнового редуктора

ствуют исследования и разработки волновых приводов как в нашей стране, так и за ее пределами.

Так, например, в МВТУ им. Н.Э. Баумана, специалисты которого тоже занимаются исследованиями ВЗП, был разработан нормализованный ряд волновых редукторов общего применения с передаточными отношениями от 80 до 250 (параметр ряда $q=1,25$) и гибкими подшипниками ($D=52-240$ мм). При частоте вращения генераторов волн деформации в 1500 мин^{-1} ресурс работы редукторов составляет 10 000 часов.

При необходимости интервал передаточных отношений ряда может быть расширен путем введения в кинематическую схему редуктора дополнительных ступеней, образованных из простых цилиндрических зубчатых передач. Представляется, что разработка модернизированного ряда редукторов общего назначения с большим интервалом передаточных отношений и нагрузок будет способствовать унификации производства, снижению себестоимости и более широкому применению волновых редукторов.

ВОЗРОЖДЕНИЕ ИНТЕРЕСА К ВОЛНЫМ ЗУБЧАТЫМ ПЕРЕДАЧАМ – НЕИЗБЕЖНО!

В.Б. Тарабарин, к. т. н.
доцент кафедры «Теория механизмов и машин» МГТУ им. Н.Э. Баумана

Волновые зубчатые передачи (ВЗП) «забыты», как и многие другие механизмы, не по своей вине.

Пик исследований волновых передач приходится на период с 1960 по 1990 годы. За это время различными научными школами подготовлено более 200 кандидатских и докторских диссертаций, многие из которых имели внедрение. Волновые передачи пытались применять в механизмах подъемных кранов, дорожных машин, в танках, в радиолокационных антеннах, роботах, спутниках, луноходах и многих других устройствах. Основными заказчиками приводов с волновыми передачами были различные организации военно-промышленного комплекса...

Мне довелось заниматься разработкой двухканальной следящей системы с волновым зубчатым дифференциальным механизмом в НПО «Ленинец». Первая часть этой работы была успешно завершена, а разработ-

ки внедрены в приводы динамического испытательного стенда. Вторая часть работы не была закончена.

Сегодня забыты не только волновые передачи. Что говорить, если еще несколько лет назад многие заводы



на зимний период останавливались, так как не могли оплачивать коммунальные услуги!..

Волновые передачи в плане технологии являются достаточно сложным изделием. Их эффективное применение возможно при больших объемах выпуска. Вообще в мире изготовлением этих передач занимаются специальные фирмы, осуществляющие как исследования, так и производство передач. Эти фирмы оснащены специализированным оборудованием, имеют отлаженную технологию изготовления всех элементов передач. Не могу сказать, что применяемые в этих фирмах методы – самые эффективные, но они обеспечивают получение работоспособной и конкурентоспособной продукции. В частности, волновые механизмы приводов робота ТУР-10 изготавливались по технологии глубокой вытяжки заготовки гибкого колеса с последующей накаткой зубчатого венца. При такой технологии стоимость ВЗП значительно снижается.

В 70-е годы группа сотрудников МВТУ, возглавляемая М.Н. Ивановым, совместно с киевским редукторным заводом и ВНИИРедуктор разработала ряд серийных волновых передач. С распадом СССР эти разработки оказались за пределами нашей страны.

Сегодня возраст тех, кто специализировался на разработке волновых передач, превышает пенсионный. Последние 10 – 15 лет практически никто глубоко не занимался проектированием и изготовлением волновых передач. Было защищено несколько диссертаций по ВЗП, но работы в основном носили теоретический характер.

Волновые передачи забыты из-за:

- отсутствия финансирования опытно-конструкторских работ;
- низкого общего финансирования работ в военно-промышленном комплексе;
- дисквалификации большинства специалистов в этой области, отсутствия притока молодых специалистов;
- развала промышленности, отсутствия необходимого оборудования и специалистов, многих других факторов.

Волновые передачи – достаточно новый и прогрессивный вид передач, возможности которого на сегодня еще не раскрыты. Существует множество областей, где ВЗП могут найти применение. Например, многоподвижные и высокоточные приводы телекамер слежения, приборов ночного видения и других подобных устройств. Напомню, волновые передачи – это:

– возможность реализации в одной ступени при двух-волновом генераторе волн больших передаточных отношений в диапазоне от 40 до 300;

– высокая нагрузочная способность при относительно малых габаритах и массе;

– малый мертвый ход и высокая кинематическая точность;

– возможность передачи движения через герметичную перегородку;

– малый приведенный к входному валу момент инерции (для механизмов с дисковыми генераторами волн).

Убежден, что возрождение интереса к новым видам передач, особенно к основанным на новых принципах (для ВЗП это высокая деформируемость одного из звеньев – гибкого колеса), неизбежно. Задачи, которые стоят, например, перед зубчатыми приводами газотурбинных двигателей, невозможно решить в рамках обычных жестких зубчатых передач.

Для обеспечения будущего необходимо сохранить тот опыт, который был накоплен в стране за прошлые десятилетия. Вероятно, надо издать серию материалов по расчету и проектированию ВЗП, атлас конструкций ВЗП. Уверен: нужны пропаганда этих механизмов, поиск возможных потребителей и заинтересованных лиц.

ОТ РЕДАКЦИИ

Редакция благодарит Б.М. Борзилова и В.Б. Тарабарина, предоставивших свои материалы для нашего журнала. С согласия авторов публикуем их координаты, которыми могут воспользоваться специалисты предприятий, заинтересованные в освоении производства волновых редукторов или волновых передач.

Б.М. Борзилов

e-mail: reduktion@peterstar.ru

В.Б. Тарабарин

e-mail: waltar44@mail.ru

В порядке продолжения дискуссии на страницах журнала обращаемся к специалистам предприятий с предложением высказаться относительно проблем волновых редукторов, реальных перспектив их внедрения, направлений необходимых исследований и др.



ВОССОЗДАДИМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ РОССИИ!

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ! Мы уверены в том, что в недрах ваших лабораторий, НИИ, КБ и промышленных предприятий вынашиваются и создаются новые конкурентоспособные проекты – важнейшая составляющая современной, технически сильной и экономически независимой России! Вместе с НТЦ «Редуктор» и на основе его редукторов и приводов Вы сможете реализовать самые смелые идеи и проекты!

Мы готовы к совместным действиям! Звоните, пишите нам!

(812) 327-0431

