

## ПРЕДИСЛОВИЕ

На земле создана и функционирует как гигантский механизм область господства техники. Ей подчиняется жизнь среды, окружающей и воздействующей на человечество. Мы живем в условиях глобальной технической цивилизации.

Жизнь справедливо определять как сочетание процессов. Более того, ее можно понимать как особую форму движения, а разум — как саму ее целенаправленность. Древнее выражение «и камни мыслят» содержит в себе определенную долю истины, поскольку в нашем понимании стирается грань между мертвой и живой природой, а функция жизни распространяется в обе стороны: в микро- и макромир. Бесконечное развитие может мыслиться как смена качественно новых ступеней, как смена форм воплощения [1].

Нет ничего удивительного, если рассуждать о процессах, происходящих в техносфере, как о чередовании стадий: материя — идея — материя — идея — материя... При таком чередовании бессмысленно говорить о приоритете идеи или материи. В ином случае встречаются противоречия в оценке различными исследованиями влияния того или иного фактора. Поэтому основа взаимосвязи идеи и материи заложена при написании книги о триботехнических процессах червячной передачи и возможностях повышения ее работоспособности.

При работе над книгой наряду с капитальными трудами ученых по червячным передачам и триботехническим исследованиям были использованы отчеты аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» по проекту № 2.1.1/4987 «Разработка теоретических основ работоспособности пары трения, имеющей антифрикционные материалы на основе комплексного анализа трибосистемы, и создание триботехнических материалов целевого назначения», диссертации, журнальные статьи, публикации в сборниках научно-практических конференций, патенты и другое на основании результатов научно-исследовательских работ, проведенных в лаборатории кафедры механики и компьютерной графики ИГХТУ.

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников, занимающихся вопросами проектирования и конструирования, эксплуатации и триботехнической надежности работы червячных передач, а также будет полезна преподавателям, аспирантам и студентам, изучающим курсы: «Теория машин и механизмов», «Детали машин и основы конструирования», «Триботехника». Для использования монографии в качестве пособия для изучения, понимания триботехнической работоспособности червячной передачи в содержание книги внесены конструкторские определения, пояснения основных кинематических, геометрических и расчетных параметров червячного механизма, а также представлен современный рынок смазочных материалов с основными показателями редукторных масел. В связи с этим написание книги строилось таким образом, чтобы для обсуждения конкретного

вопроса, рассматриваемого в монографии, не требовалось предварительного изучения какого-либо отдельного раздела.

Хотелось бы отметить, что данная монография выполнена в развитие ранее проведенных исследований в области материаловедения и надежности триботехнических систем профессором В. Г. Мельниковым, а также выразить благодарность коллеге по работе кафедры МиКГ ИГХТУ — заведующей лабораторией Н. И. Замятиной, которая принимала активное участие в проведении исследований смазочных материалов и супруге Галине, создавшей благоприятные условия для написания этой книги.

# ВВЕДЕНИЕ

Развитие современного машиностроения связано с внедрением новых эффективных технологий, которые сопровождаются увеличением мощности, скорости, производительности и других параметров эксплуатации машин.

Наиболее фундаментальными проблемами, связанными с надежностью и долговечностью работы машин и механизмов, являются трение и износ. Эти факторы составляют 85–90% выхода из строя деталей машин.

Известно, что механические передачи занимают одно из важнейших мест при передаче или преобразовании движения. Учитывая исключительную важность механического привода в составе любой машины, рассмотрим механические передачи с непосредственным контактом зацепления. К этому классу передач относятся зубчатые механизмы с параллельными осями (цилиндрические), пересекающимися осями (конические) и перекрещивающимися осями (гиперболоидные), вариантами которых являются червячные, гипоидные и винтовые механизмы.

Механические передачи работают в различных условиях: скорости рабочих органов, внешние нагрузки, рабочая температура и т. д. В любом случае механизмы должны работать безотказно в течение длительного времени (в соответствии с заданным сроком службы). Для этого механизмы обладают определенными качественными показателями, т. е. удовлетворяют целому ряду требований, учитывающих их условия работы. Качественные показатели взаимодействия двух сопряженных передаточных элементов определяются характеристиками зацепления: коэффициентом перекрытия, удельным скольжением, а также механическим коэффициентом полезного действия (КПД). Чем он выше, тем выгоднее в эксплуатации машина. При выборе структуры механизмов, образующих машину, необходимо ориентироваться на простоту конструкции, величину передаваемого момента, компактность — передача с малыми размерами, и при этом должна быть очень надежной. В связи с этим к деталям передач предъявляются высокие требования прочности, жесткости и износостойкости.

За основной критерий работоспособности механических передач принята контактная выносливость рабочих поверхностей зубьев. Значительное влияние на предел контактной выносливости оказывают силы трения, возникающие при скольжении и зависящие от величины коэффициента трения. Зубчатые и червячные передачи относятся к смешанным узлам трения, так как они работают в жидкостных и граничных условиях смазки, которые определяются по критерию Зоммерфельда  $v\omega/q$  ( $v$  — вязкость;  $\omega$  — угловая скорость;  $q$  — давление). В смешанных узлах трения относительные скорости обоих тел в зоне трения различны. Они прямо пропорциональны расстоянию от точки контакта до оси вращения одного из тел, перпендикулярной к поверхности трения.

Комплекс процессов, протекающих на фрикционном контакте, приводит к сложной зависимости коэффициента трения и интенсивности изнаши-

вания от скорости скольжения, так как на эти факторы влияет температурный эффект. В связи с этим при проектировании передач в контакте зацепления стремятся обеспечить жидкостное трение. Однако при больших нагрузках в передачах возникает граничное трение, которое имеет склонность к схватыванию контактирующих материалов, так как смазочная пленка не разделяет трущиеся поверхности. Для исключения схватывания необходимо применять смазочные материалы, способные образовывать на рабочих поверхностях граничные слои адсорбционного или хемосорбционного происхождения, обладающие пониженным сопротивлением сдвигу по сравнению с основным материалом.

Так как наибольшее скольжение наблюдается в гиперболоидных механизмах, в частности в червячных передачах, в работе исследуются конструкторские возможности улучшения смазочной способности, а также исключение задира за счет эффективных маслорастворимых металлоплакирующих присадок и антифрикционных добавок в контакте червячной пары трения. Понятно, что условия зацепления и трения в цилиндрических, конических и гиперболоидных передачах различны. Однако в червячной передаче наиболее сложная кинематика зацепления и условия работы, поэтому повышение триботехнической эффективности данного механизма за счет смазочного материала (СМ) представляет актуальную задачу, так как разработанные СМ, имеющие высокие антизадирные и противоизносные свойства, вполне могут быть применимы в зубчатых передачах. В связи с этим в работе проведено исследование повышения работоспособности не только антифрикционной пары трения, но и трибосистемы со стальными парами трения.

В целом червячная передача является, с одной стороны, простым механическим объектом, имеющим достаточно много технико-экономических преимуществ, с другой стороны, сложным с точки зрения зацепления и, как следствие, триботехнически проблематичным: заедание, износ, низкий КПД. Преимущество червячной передачи состоит, во-первых, в том, что червячный редуктор позволяет получить в одной ступени большое по значению передаточное число. Например, редуктор червячный общего назначения обеспечивает передаточное число порядка 80, а специальный редуктор (двухступенчатый) увеличивает его до нескольких сотен единиц. Во-вторых, червячный редуктор обладает исключительной бесшумностью, плавностью хода и эффектом самоторможения при определенных конструкторских условиях, а также компактностью. Важным критерием надежности работы червячных передач является износостойкость пары трения «червяк — колесо», так как износ является основной причиной выхода из строя данных механизмов [2]. Проблема износа червячной передачи является следствием образования заедания и последующего задира, который во фрикционном контакте приводит к катастрофическому износу пары трения. Задиры резко ограничивают срок работы передачи. Поэтому проблема трения и износа является одной из определяющих ресурс работы червячных передач. Для снижения трения и изнашивания используются смазочные материалы, которые имеют весьма значительное

влияние на триботехнические показатели работы передач. Особенно это наблюдается в тяжело нагруженных передачах, поэтому для обеспечения задиростойкости в парах трения применяются наиболее благоприятные сочетания конструкционных материалов, совместимых с определенной смазкой, при заданных режимах эксплуатации. В этой связи актуальной задачей является разработка смазочных материалов, специфичных для механических передач, в частности для червячных передач.

Важным резервом повышения эксплуатации червячных передач является целенаправленное формирование защитного смазочного слоя на контактируемых поверхностях трения, уменьшающего опасность износа [3]. Для этого необходим поиск новых трибоактивных компонентов, обеспечивающих эффективный граничный смазочный слой. Важно предусмотреть применение смазочных материалов с восстановительным эффектом, с помощью которых можно не только замедлить износ, но и вернуть размеры трущихся деталей к исходным значениям.

Обеспечение надежности работы червячных передач во многом зависит от научно обоснованных триботехнических подходов. Раскрытию механизма, основных закономерностей трения, изнашивания, явлений и процессов схватывания, заедания, задира трущихся материалов, изучению свойств смазочных материалов посвящены исследования многих российских и зарубежных ученых, среди которых фундаментальное значение имеют работы У. Б. Харди, М. М. Хрущева, П. А. Ребиндера, И. В. Крагельского, А. С. Ахматова, Ф. Боудена, Д. Тейбора, Д. Н. Гаркунова, Б. И. Костецкого, А. В. Чичинадзе, М. Хебда, Р. М. Матвеевского, В. Д. Кузнецова, Н. Б. Демкина, Ю. Н. Дроздова, И. А. Буяновского, Л. И. Погадаева, А. С. Кужарова, Л. И. Бершадского, Л. Бакли, Н. А. Буше, А. П. Семенова, В. П. Когаева, Г. Нимана, П. А. Демченко, Б. В. Дерягина, Г. И. Фукса, А. А. Полякова, И. Э. Виноградовой, В. Г. Павлова, В. Г. Мельникова, В. А. Годлевского, Е. В. Березиной и др.

В настоящее время на базе фундаментальных знаний проводятся дальнейшие исследовательские работы в области прочности деталей, динамических процессов в передачах, концентрации нагрузки по контактным линиям, трения, заедания, изнашивания рабочих поверхностей и многие другие. Значительное развитие получили исследования в области точности изготовления и монтажа червячных передач. Освоены производством модификации червячного зацепления, отличающиеся высокой несущей способностью и хорошими смазочными свойствами. Однако если достигнуты определенные успехи в изучении геометрии червячных передач, физических явлений, происходящих в контакте, то триботехнические процессы в паре трения во многом еще не ясны и нет обоснованной методики применения смазочных материалов с эффективными присадками и добавками для определенных эксплуатационных условий работы передачи.

Во всем мире над этим вопросом работают известные фирмы по изготовлению качественных масел, эффективных присадок, смазочных материалов.

Научно-исследовательская деятельность и прикладная техника неотъемлемо связаны друг с другом и являются одной из ключевых концепций. Этой концепции придерживаются многие компании, фирмы, научно-производственные предприятия, научно-исследовательские институты и лаборатории, например немецкая фирма ADDINOL Lube Oil GmbH. Перед тем как поступить в продажу, каждый продукт проходит обширные исследования в соответствии с жесточайшими требованиями нормативной документации. Группа Nanol Technologies (Финляндия) совершила технологический прорыв в области создания смазочных материалов за счет использования результатов исследования на современном оборудовании, что позволило создать высокоэффективные смазочные материалы нового поколения. Российская фирма «НАНОТЕК», которая прежде исследует предложения и разработки к смазкам, а затем разрабатывает совершенную технологию по изготовлению, апробирует и затем уже внедряет в производство. Таких примеров можно привести множество, и это радует, так как данная концепция является залогом повышения надежности работы смазочных материалов в узлах трения.

Традиционно при эксплуатации червячных редукторов применяют нефтяные масла индустриальные, трансмиссионные, цилиндровые. Масло МС-20 часто используется в качестве базового компонента для создания смазочных материалов с присадками. Наряду с чисто нефтяными или синтетическими маслами все чаще используют их смеси — полусинтетические масла, которые имеют высокую стоимость. Все товарные масла, предлагаемые рынком, не удовлетворяют триботехническим требованиям повышенной эксплуатации червячной передачи, а также они в основном имеют в составе серо-, хлор- и фосфорсодержащие компоненты, применение которых нежелательно из соображений экологии. Перспективным направлением является применение комплексных смазочных материалов, однако в России практически отсутствует производство эффективных противоизносных и противозадирных поверхностно-активных присадок к маслам [4].

Таким образом, актуальной задачей является разработка специфичных смазочных материалов для червячных передач с целью повышения КПД и надежности работы. Выбор конструкционных и смазочных материалов для червячной передачи определяется критерием задиростойкости пары трения. Однако экспериментальные и производственные данные показывают, что способность различных материалов противостоять задиру при трении со смазкой различна. Известно, что в червячных передачах для исключения задира применяются антифрикционные материалы. Однако использование бронз в механизмах приводит к увеличению стоимости изделия и ограничивает величину передаваемых моментов, так как эти материалы имеют невысокие механические характеристики. Следует отметить, что применение в червячной передаче стальных конструкционных материалов в сочетании со

специальными смазками позволит повысить прочность зубьев и снизить стоимость червячного колеса, увеличить пределы передаваемых крутящих моментов, что даст определенный технико-экономический эффект.

Проблема очевидна, поэтому в книге рассматривается триботехническая концепция повышения работы червячной передачи, которая решается теоретическим и экспериментальным путем во взаимосвязи последних достижений науки и техники в области редукторостроения, а также рынка смазочных материалов.

С этой целью в книге последовательно излагаются результаты анализа и исследований повышения работоспособности червячных передач.

# 1. ЧЕРВЯЧНЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Необходимо отметить, что разработкой червячной передачи занимались известные ученые: Ф. Лоренц (1842–1924) и С. Кон (1865–1949). Их продолжатели: Н. И. Колчин, Б. А. Гессен, П. С. Зак, Ф. Л. Литвин, А. С. Кривенко, Л. Д. Часовников, И. П. Бернацкий, В. В. Шульц, В. И. Парубец, А. И. Сандлер, А. В. Верховский, С. А. Лагутин, Г. Ниман, С. Н. Николаев, Э. Н. Галиченко, К. И. Заблонский, Л. И. Бершадский, И. А. Биргер, В. А. Добровольский, Д. Н. Решетов, Л. Д. Часовников, А. И. Перусевич и др.

Благодаря многим преимуществам, внедрению перспективных разработок и эффективных решений аналитических аспектов в совершенствование червячных передач этот вид механизмов является одним из наиболее распространенных в машинах и приводах. Обеспечение конкурентоспособности червячных передач на мировом рынке зависит от высокого технического уровня изготавливаемой продукции. Техничко-экономический уровень решается на основе комплексного подхода: на этапах проектирования и расчета, совершенствования конструкций червячных передач, улучшения качества конструкционных и смазочных материалов с целью повышения КПД, надежности работы, продления срока работы и снижения эксплуатационных затрат.

## 1.1. Кинематические и силовые передачи

Червячные передачи относят к передачам зацеплением. Червячная передача — это аналог зубчато-винтовой передачи, движение в которой осуществляют по принципу винтовой пары [5]. Если рассечь червячную передачу плоскостью, перпендикулярной к оси колеса, то в сечении получим плоское реечное зацепление.

Червячная передача (рис. 1.1) — механизм для передачи вращения между валами, пересекающимися под углом  $90^\circ$  посредством винта — червяка и сопряженного с ним червячного колеса.

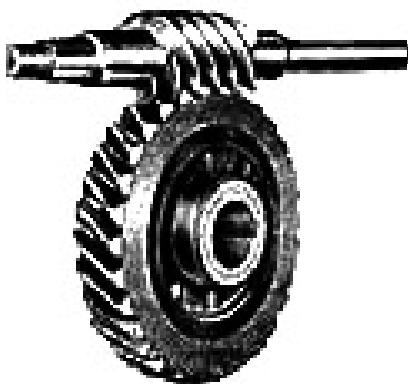


Рис. 1.1  
Червячная передача



Ведущим элементом в передаче обычно является червяк, ведомым — червячное колесо с зубьями дуговой формы, получаемыми в результате обле-гания поверхностной формы витков червяка. При вращении червяка вокруг своей оси его витки перемещаются вдоль образующей своей цилиндрической поверхности. В результате червяк приводит во вращательное движение чер-вячное колесо, контактирующее с ним. В червячных передачах имеет место линейный контакт. Дуговая форма зубьев колеса обеспечивает увеличение длины контактных линий [5].

Достоинства червячных передач:

- большое передаточное число (одной парой — от 8 до 100, а в кинема-тических передачах — до 1000);
- плавность и бесшумность работы;
- реверсивность;
- возможность выполнения самотормозящих функций (грузоподъем-ные механизмы);
- демпфирующие свойства снижают уровень вибрации;
- возможность получения точных и малых перемещений;
- компактность и сравнительно небольшая масса конструкции переда-чи.

Недостатки:

- большое скольжение витка червяка по зубу колеса, следовательно, высокое трение в зацеплении;
- повышенное заедание и изнашивание;
- необходимость применения для колеса дорогих антифрикционных материалов;
- низкий КПД (0,7–0,92), в самотормозящих передачах — до 0,5;
- большой нагрев передачи при длительной работе;
- необходимость регулировки зацепления.

Кроме того, червячные передачи имеют важное свойство: движение передаётся только от червяка к колесу, а не наоборот. Никакой вращающий момент, приложенный к колесу, не заставит вращаться червяк. Таким обра-зом, редуктор с червячной передачей позволяет исключить из конструкции привода дополнительное тормозное устройство. Именно поэтому червячные передачи находят широкое применение в подъёмных механизмах, например в лифтах. В приводе лифтов электродвигатель соединён с червяком, а стальной канат кабины намотан на вал червячного колеса во избежание самопроиз-вольного опускания или падения. Червячный редуктор используют как со-ставную часть мотор-редукторов, устанавливаемых в троллейбусах, турби-нах, металлорежущих станках, подъемниках, т. е. везде, где плавная остано-вка привода принципиально важна.

Червячная передача за счёт большого передаточного отношения пред-назначена для увеличения крутящего момента и уменьшения угловой скоро-сти. Червячные передачи во избежание их перегрева предпочтительно ис-пользовать в приводах периодического, а не непрерывного действия.

По назначению червячные передачи разделяют на механизмы кинематические и силовые.

Кинематические передачи нашли широкое применение в приборостроении, испытательных машинах, часовых механизмах, регулируемых гаечных ключах, а также используются в поворотных устройствах: делительных механизмах зуборезных, продольно-фрезерных, расточных и других металло-режущих станках для достижения высокой точности относительного поворота. Для кинематических червячных передач ГОСТ 3675-81 устанавливает 3, 4, 5, 6-ю степени точности изготовления, которые определяют нормы кинематической точности, т. е. допустимую величину (допуск) погрешности угла поворота колеса в пределах его оборота. Допуск на кинематическую погрешность  $F_i$  червячных цилиндрических мелко модульных передач ГОСТ 9774-81 назначает в зависимости от диаметра делительной окружности колеса. Допуск на накопленную погрешность  $K$  шагов червячного колеса  $F_{pk}$  назначается в зависимости от длины дуги делительной окружности колеса. В кинематических передачах высокой точности в ряде случаев предусматривается регулирование точности относительного положения червяка и колеса, например винтовые и пружинные компенсаторы осевого люфта червяка или конструкции зазоровыбирающих устройств червячного колеса [6].

Силовые червячные передачи применяют как в технологических машинах, так и в разнообразных редукторах общемашиностроительного применения. Червячные редукторы используются в грузоподъемных и тяговых лебедках, талях, механизмах подъема грузов, стрел и поворота автомобильных и железнодорожных кранов, экскаваторах, конвейерах, транспортных машинах, металлообрабатывающих станках, механизмах запорной арматуры, мешалках и других машинах. В грузоподъемных машинах и механизмах рекомендуется применять червячные передачи до 50 кВт.

Обычно в редукторах степень точности устанавливают для силовых передач: 7, 8 и 9-ю. Одной из важных тенденций современного редукторостроения является повышение точности передач, в первую очередь быстроходных. От точности передач зависит виброакустическая характеристика редуктора, которая приобретает все большее коммерческое значение. В последнее время при изготовлении ответственных червячных передач стали устанавливать 6-ю степень точности. Особое внимание уделяют нормам точности монтажа передачи, так как ошибки положения колеса относительно червяка весьма существенно влияют на распределение нагрузки по длине зуба.

## 1.2. Типовые конструкции червячных редукторов

В основном традиционная российская номенклатура имеет типовые червячные редукторы Ч с  $M_2 = 292\text{--}2000$  Нм, 2Ч, 2ЧМ с диапазоном вращающих моментов на выходном валу  $M_2 = 26\text{--}245$  Нм, РЧУ с  $M_2 = 26\text{--}422$  Нм, РЧН, РЧП с  $M_2$  до 12 500 Нм, и передаточными числами  $u_p$  от 8 до 80; двухступенчатые Ч2 с  $u_p = 160\text{--}500$  и  $M_2$  до 3400 Нм; одноступенчатые глобоидные ЧГ с  $M_2 = 110\text{--}2050$  Нм; Чог с  $M_2 = 600\text{--}9890$  Нм и  $u_p = 10\text{--}63$ .

К сожалению, многие российские предприятия предлагают одни и те же типовые конструкции редукторов, спроектированных в 1960–1980-х гг. Одной из причин является то, что редукторная наука в последние три десятилетия была инертна и далека от стремительных преобразований. Поэтому редукторы сделаны, как под копирку, на основе применения примитивных зубчатых технологий, господствовавших еще во времена СССР. Все эти конструкции предусматривают изготовление зубьев колес по 8–9-й степени точности, из-под фрезы, без требуемой термообработки и последующих чистовых операций — шлифования зубьев, продольной и профильной их модификации. В конструкциях всех этих редукторов предусмотрены подшипники с максимальным ресурсом эксплуатации 5 тыс. часов. Современный редукторный мир применяет подшипники с ресурсом 50 тыс. часов, т. е. в 10 раз больше! Эти устаревшие модели уже далеко не всегда соответствуют современным требованиям и во многом уступают зарубежным редукторам. Зачастую, несмотря на относительную дешевизну отечественных приводов, использовать их невыгодно. Состояние российской редукторной отрасли сегодня катастрофическое, так как конкуренция США, Канады, Японии, европейских редукторных производителей весьма высокая и выдержать многим предприятиям ее не под силу. Например, английская фирма David Brown на основе глубоких знаний о свойствах червячных передач и методах их изготовления более 50 лет сохраняет мировое лидерство в этой области. Её червячные редукторы и передачи, КПД которых был доведён до 95%, повсеместно вытеснили глобоидные и гипоидные редукторы и передачи. Успех этой фирмы и преимущества их червячных редукторов не случайны. Они базировались на глубочайших научных знаниях и ноу-хау.

В сложившейся ситуации при выборе редуктора российский потребитель отдает предпочтение на 36% фирмам Германии, на 29% Италии, а также Китая, Англии, Турции, Испании, так как заказ отечественного производства составляет приблизительно четвертую часть — 25%. Мало того, редукторный «синдром Китая» в России и в Европе нарастает стремительными темпами. Сегодня ни для кого не секрет, что есть случаи, когда «произведено в Европе» на самом деле значит «произведено в Китае», так как сегодня уже никто китайские редукторы не может отличить от европейских производителей [7].

В целом поставлена государственная и общественная задача огромной важности производства российских редукторов и мотор-редукторов, не только не уступающих, но и превосходящих зарубежные. Причем речь идет о качественном изготовлении передач и редукторов, создании передач с особыми конструктивно-эксплуатационными свойствами, а также об использовании эффективных смазочных материалов. А для того чтобы получить такие червячные редукторы, необходимы научные передовые разработки, исследования, нестандартные технические решения, испытания, результаты которых должны быть доведены до внедрения в производство.

Надо с удовлетворением констатировать, что на сегодняшний день поставленная задача по развитию редукторостроения и триботехнических ре-

шений повышения эффективности работы механических передач успешно решается. Результатом является качественное изменение и расширение перечня российской типовой общепромышленной продукции, включая модификации червячных редукторов и новые конструкции.

### **1.3. Модификации и новые конструкции редукторов**

Развитие современного редукторостроения связано с внедрением новых червячных механизмов, которые обеспечивают надежность эксплуатации, связанную с продлением срока работы, что является мощным технико-экономическим фактором. В связи с этим червячные передачи и редукторы должны обеспечивать высокие требования прочности, жесткости, теплостойкости, вибростойкости и износостойкости. Последнее во многом зависит от условий смазки и смазочных материалов в червячной паре трения.

Актуальной задачей эксплуатации червячных редукторов является реальное повышение ресурса. В основе решения — идеи модернизации, т. е. значительного усовершенствования конструктивных и технологических параметров типовых конструкций редукторов, а также решения триботехнических задач.

Совершенствование типовых редукторов и модернизация на основе новейших технологий и инженерно-научных изысканий повышает надежность и конкурентоспособность отечественных изделий. Российские производители редукторостроения развивают свою деятельность сразу в нескольких направлениях, главные из которых: расширение номенклатуры выпускаемых изделий с учетом того, что предлагают зарубежные фирмы, а также новых типов редукторов; модернизация типовых моделей; совершенствование механических передач; повышение качества продукции за счет строгого соблюдения технологических операций и разных способов контроля. В модернизации стандартных редукторов одним из основных является принцип конструктивной преемственности. Это значит, что конструкции модернизированных редукторов (мотор-редукторов) построены на базе прежних, ранее применявшихся изделий или предусматривают сохранение всех присоединительных размеров, что позволяет потребителям без каких-либо дополнительных затрат перейти к использованию усовершенствованных конструкций.

Прогресс редукторостроения заключается и в научно-техническом сотрудничестве между российскими (НТЦ «Редуктор», Санкт-Петербург; НТЦ «Приводная техника», Москва; ОАО «Редуктор», Ижевск) и западными производителями: испанские, бельгийские и итальянские редукторные фирмы. В основу сотрудничества положено соблюдение паритета — совместные исследования, разработка, изготовление и сборка продукции. Таким примером является серия редукторов ES совместного производства (НТЦ «Редуктор», Санкт-Петербург, испанская фирма Pujol Muntalá и бельгийская Watteeuw), гарантия до 10 лет [8]. Передовыми предприятиями России в современном производстве редукторов являются НТЦ «Редуктор», НТЦ «Приводная техника». Важнейшие конструктивно-технологические отличия червячных ре-

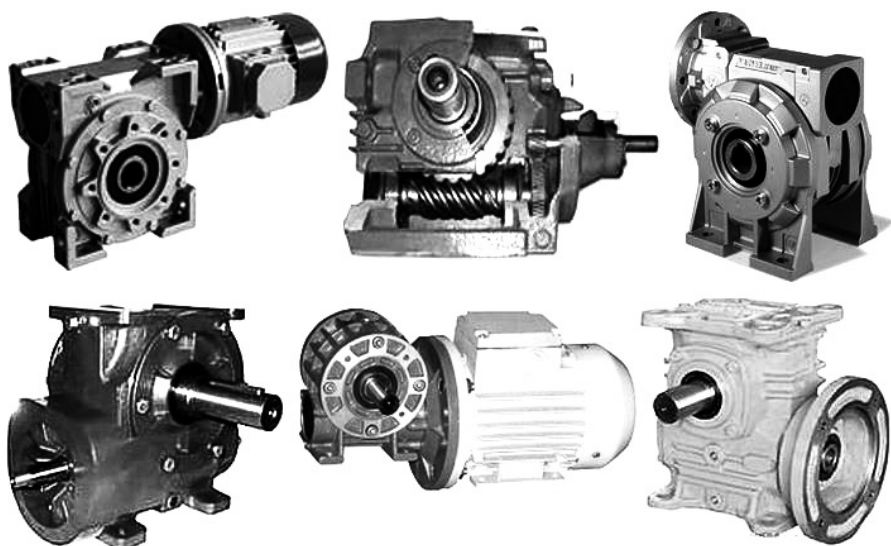
дукторов, производимых НТЦ «Редуктор» (Санкт-Петербург), состоят в том, что при выборе исходных геометрических параметров, расчётах, проектировании и изготовлении червячных передач учитываются принципиально новые свойства зацепления, которые разработаны специалистами и защищены патентами. В разработках НТЦ «Редуктор» имеются новые концепции о модификации сопряженных поверхностей витка червяка и зубьев колеса для повышения эксплуатационных показателей и надёжности производимой продукции. Важным фактором надёжности является точность изготовления передачи и редуктора, которая достигается на 2–3 степени выше, чем у других производителей. Благодаря уточнённому прочностному расчёту червячных передач, интегрально учитывающему свойства локальных зон зацепления, внесены коррекции в исходные поверхности, в том числе углов профиля. Изготавливаются червячные передачи с повышенной заходностью червяков  $Z_1 = 3, 4, 5$  и более, а также многозаходные червяки с эффектом самоторможения. Если все в России, да и за рубежом предлагают червячные редукторы с межосевым расстоянием  $a_w \leq$  до 160 мм, то НТЦ «Редуктор» расширил эти диапазоны вплоть до 630 мм:  $a_w = 180, 200, 225, 250, 320, 400, 500, 630$  мм. НТЦ «Редуктор» предлагает на порядок более экономичные цилиндрическо-червячные редукторы (рис. 1.2) и мотор-редукторы ЦЧ-100, ЦЧ-125, ЦЧ-160, МЦЧ-100, МЦЧ-125, МЦЧ-160. Аналогично планетарно-червячные редукторы и мотор-редукторы: ПЧ-100, ПЧ-125, ПЧ-160. Они пользуются повышенным спросом.

Существенно расширило номенклатуру выпускаемой приводной техники петербургское ОАО «Завод редуктор». Предприятием внедрена в серийное производство широкая гамма червячных одно- и двухступенчатых редукторов и мотор-редукторов.

НТЦ «Приводная техника» (Москва), учитывая потребности клиентов, не так давно пополнил свой ассортимент новой серией червячных редукторов и мотор-редукторов 7Ч. В конструкции редукторов серии 7Ч удалось за счет оптимального подбора параметров червяка повысить КПД в среднем на 5–10%. Простые в эксплуатации червячные редукторы и мотор-редукторы серии 7Ч/7Ч2 (7МЧ/7МЧ2) предназначены для машин с повторно-кратковременным и непрерывным режимами работы.

Редукторы выпускаются в 30 вариантах исполнения (рис. 1.2), в том числе с двухсторонним выходным валом, что особенно удобно для использования в подъемно-транспортных машинах.

ОАО «Электромеханика» (Санкт-Петербург) занимается проектированием и поставкой редукторов для передачи мощности от 1,5 до 220 кВт с передаточным числом до 150 в вертикальном и горизонтальном исполнении. Оборудование, разработанное специалистами этого предприятия, успешно конкурирует по качественным характеристикам с аналогичной продукцией фирм Hansen, Sumitomo и др.



**Рис. 1.2**  
Новые серии червячных редукторов

ОАО «Редуктор» (г. Барыш, Ульяновская обл.) специализируется на выпуске одно- и двухступенчатых червячных редукторов. Сегодня завод изготавливает все типоразмеры редукторов, предусматривая шесть вариантов расположения червячной пары в пространстве, пять вариантов крепления редуктора и восемь вариантов сборки. После освоения в 2001 г. нового по конструктивным особенностям редуктора Ч-40 предприятие расширило типоразмерный ряд этих редукторов, и сегодня он включает модели: Ч-40, 1Ч-63А, 5Ч-80, 5Ч-100, 5Ч-125, 1Ч-160, 5Ч2-125 и 1Ч2-16.

Ижевский редукторный завод (ОАО «Редуктор») выпускает червячные редукторы Ч-80, Ч-100, Ч-125, 1Ч-63А, 1Ч-160, Ч2-160. Все модели способны передавать как постоянную, так и переменную нагрузку в одностороннем направлении и реверсивно. Оптимальные межосевые расстояния позволяют успешно решать конструкторские задачи по оптимизации компоновки проектируемых механизмов. Завод освоил восемь вариантов сборки. Редукторы могут работать при шести различных расположениях червячной пары в пространстве. Частота вращения входного вала не более 1800 об/мин. Все корпуса выпускаемых червячных редукторов имеют оребрения, улучшающие теплоотвод. Для охлаждения редукторов на червячном валу установлен вентилятор. Во избежание утечки масла посадочные места крышек подшипников в редукторах Ч-100, Ч-125 и Ч-160 уплотнены кольцами. ОАО «Редуктор» (Ижевск) встал на путь сотрудничества с итальянскими редукторостроителями в области производства редукторов на основе червячных передач.

Многие другие отечественные заводы выпускают червячные редукторы: челябинский завод «Редуктор», подольский «Привод», Уралредуктор,

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)