

УДК 621.833.38

DOI: 10.22213/2413-1172-2024-3-16-25

Инновации в технике и технологии передач червячного типа*

Е. С. Трубачев, доктор технических наук, профессор, Институт механики имени профессора Гольдфарба В. И. ИжГТУ имени М. Т. Калашникова; ООО «МИП «Механик», Ижевск, Россия

Относительно небольшие изменения в технике и технологии традиционных устоявшихся изделий со временем превращаются в ряд этапных, определяющих и технические характеристики, и способы производства, и как следствие – конкурентоспособность конечной продукции. Соответственно, актуально периодически посмотреть на эволюцию накопленных решений и сделать некоторые выводы. С этой целью в статье сделан обзор инноваций в проектировании и производстве передач червячного типа, полученных в Ижевской научной школе в области зубчатых передач за последние два десятилетия:

спироидные передачи, работающие при низких скоростях вращения и передающих большие нагрузки, приводящие вследствие компактности передач к пластическим деформациям;

спироидные передачи с малыми передаточными отношениями (3...8), составляющие конкуренцию с более дорогими в производстве коническими и гипоидными передачами;

червячные передачи со стальными закаленными колесами, обладающие повышенной прочностью и технологичностью;

планетарно-спироидные передачи, обеспечивающие экстремально большое передаточное отношение, усовершенствованные методы и приемы проектирования и подготовки зубонарезания.

Ключевые слова: червячная передача, спироидная передача, инновации.

Введение

В 2024 г. исполняется 30 лет научному подразделению «Институт механики имени профессора Гольдфарба В. И.» ИжГТУ имени М. Т. Калашникова и 25 лет малому инновационному предприятию «Механик», созданным профессором Вениамином Иосифовичем Гольдфарбом (1941–2019). Деятельность этих структур является примером интеграции образования, науки и производства [1], обеспечивающей кратчайший путь от практического запроса на них до практической проверки и эффективной реализации, поскольку правильной, здоровой и по-настоящему мотивирующей специалистов является ситуация, при которой инновации инициируются реальным производством, обеспечиваются им и в конечном итоге проверяются и внедряются на нем. Для этого оно должно быть эффективным, самодостаточным, способным сформировать такой запрос. Эти очевидные организационные стороны инновационного процесса прошли свой естественный путь развития от появления научного подразделения и малого инновационного предприятия до настоящего времени. Оглядываясь назад, можно сказать, что первые 10–15 лет своего развития коллектив примерялся к разным областям техники привода, приложениям науч-

ного знания, нащупывал свое место на рынках техники, технологии и труда, используя подручные средства, так как практически никакого внешнего инвестирования не было за исключением программ бюджетной поддержки, которая главным образом направлялась на зарплату. В последующие 10–15 лет сформировался мотивированный коллектив сотрудников, хорошо ориентирующихся в современных условиях, знающих, в частности, конкурентные технические решения на мировом и отечественном рынках, возможности и приемы их разработки и улучшения; современное технологическое оснащение, возможности его не только применения, но и самостоятельного развития, модернизации; современную организацию управления предприятием, в том числе рlm- и еgr-технологии [2]; экономику производства, в том числе оперативную оценку стоимости и эффективности изделий, технологий и инноваций.

Возможно, перечисленные стороны очевидны, никаким «секретом производства» не являются, но автор намеренно их выделил, считая, что полноценная реализации всего перечисленного ведет к оправданным и оправдывающимся инновациям, лучшему раскрытию потенциала научных и инженерных работников, и всё это вполне может быть делом самих инноваторов.

Наконец, автор надеется, что пример создания таких условий в вышеназванных структурах станет заразительным профессиональным вызовом.

Передачи червячного типа, являющиеся предметом рассмотрения в работе, являются механизмами простыми, во многих отношениях устоявшимися и в полной мере понятными инженерному и научному сообществу как в отношении разновидностей, так и в отношении технологий производства. Приведенные в статье примеры инноваций показывают, что истощенность научного и инженерного поиска часто оказывается кажущейся.

Цель статьи – обзор конечных результатов аналитической и экспериментальной работы в технике и технологии передач червячного типа.

Главный объект разработок – спироидная передача

История изобретения разновидностей спироидных передач, разработки методов ее производства хорошо описана в работах проф. В. И. Гольдфарба [3] и В. Болоса [4]. Будучи, с одной стороны, родственной червячной передаче, по процедурам проектирования и производства, спироидная передача аналогична гипоидной по компоновочным признакам (рис. 1). Она с момента своего изобретения и во многом в на-

стоящее время сама по себе является инновацией, так как обладает очевидными преимуществами перед аналогами:

- большую нагрузочную и перегрузочную способность, статическую прочность, обусловленные многопарностью контакта и другими благоприятными свойствами зацепления, или меньшие размеры и стоимость привода;
- большую плавность работы;
- меньшую чувствительность к действию погрешностей;
- возможность применения термоупрочненной стали для изготовления венца колеса взамен антифрикционных материалов;
- возможность простой регулировки бокового зазора вплоть до полной выборки, причем непосредственно при работе передачи – осевым перемещением конического червяка или колеса;
- возможность применения широко распространенного и сравнительно простого в наладке и эксплуатации оборудования для нарезания зубьев.

Эти соображения делают применение спироидных передач привлекательным для потребителя, удобным и дешевым для производителя. Многие из них высказаны сразу после изобретения передачи [5], количественные оценки для них получены в [6, 7].

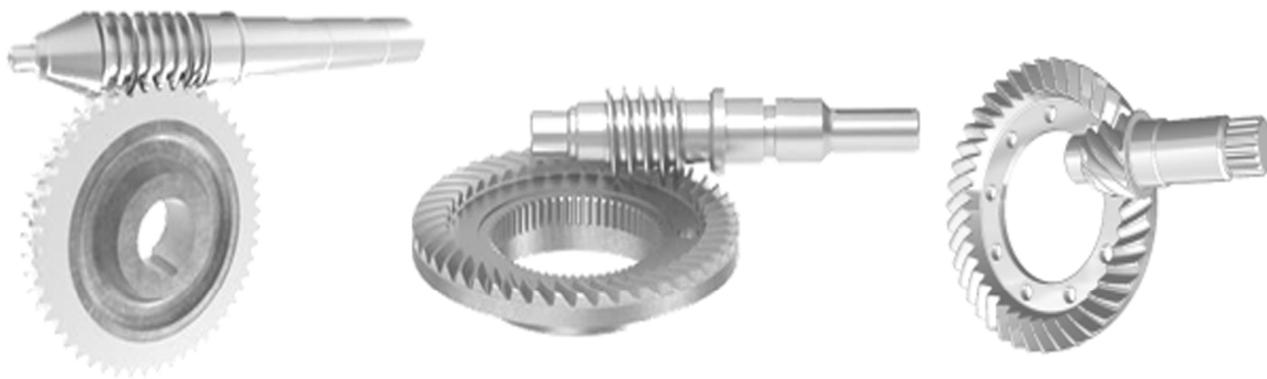


Рис. 1. Спироидная передача (в центре) и ее аналоги – червячная (слева) и гипоидная (справа) передачи

Fig. 1. Spiroid gear (in the center) and its analogs - worm (left) and hypoid (right) gears

Особый случай – низкоскоростные спироидные передачи

Одной из удачайших находок для приложения данных разработок стали редукторы (рис. 2) для управления трубопроводной арматурой (ТПА) [8], работающие при низких скоростях вращения валов (не более 200 об/мин), редких включениях, кратковременных пиковых нагрузках. Возможность применения термоупрочненной стали для колеса оказалась здесь очень кстати.

Ведущие производители, стремясь сократить издержки и массогабаритные характеристики, добились результатов, которые выглядят выдающимися в сравнении с редукторами из других областей: отношение массы к передаваемому моменту доходит до 0,003...0,005 в лучших образцах редукторов ТПА.

В настоящее время в серийном производстве МИП «Механик» находится более 100 зубчатых передач, различающихся типами, размерами (диаметры колес от 20 до 570 мм), передаточ-

ными отношениями (от 1 до 120 в одной ступени), месячная программа производства насчитывает более 50 разновидностей передач при общем числе передач около 2500. Можно себе представить, что с учетом относительно скромных ресурсов это оказывается единственно возможным, если каждая из передач оптимизирована под условия производства, что обеспечива-

ет быструю и дешевую подготовку последнего и последующее эффективное изготовление продукции. При этом для каждого объекта производства на этапе проектирования рассматриваются сотни вариантов решений, формируется большое число оценок. Практика отработки решений дала основания для некоторых, на наш взгляд, интересных тенденций в проектировании.

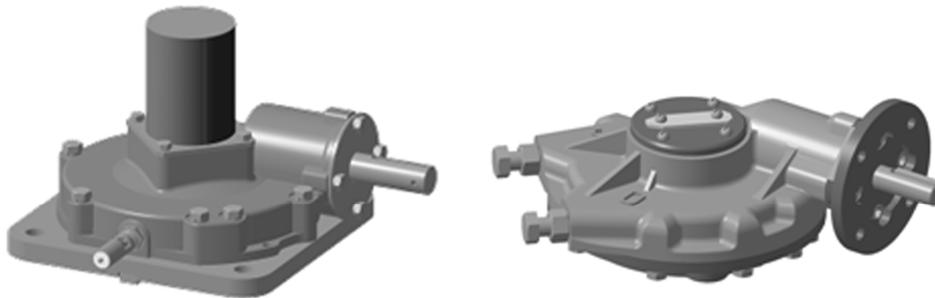


Рис. 2. Спиroidные редукторы ТПА

Fig. 2. Spiroid gearboxes of pipeline valves

«Неожиданные» правила проектирования
Лучшая передача не есть лучшее решение для редуктора

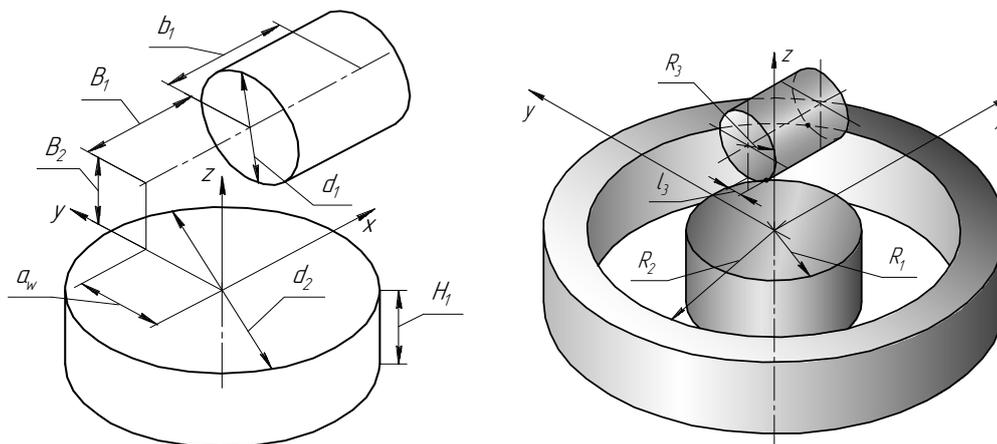
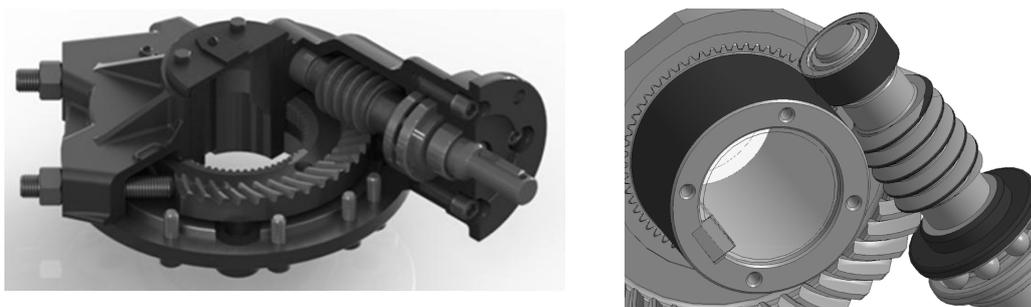
Разумное стремление минимизировать размеры передачи и редуктора приводит к очевидным результатам: возрастают силы, действующие в зацеплении (как следствие – действующие на подшипники и корпусные детали) и возникает большое число ограничений геометрического характера – пересечение конструктивных элементов редуктора. Часть этих ограничений диктуется приводимой техникой, например, присоединительным фланцем и приводным валом. Вокруг этих элементов вынужденно располагаются конструктивные элементы редуктора, как следствие, и передача. Вторая часть ограничений связана с опасностью пересечения конструктивных элементов редуктора между собой. Эти конструктивные элементы – звенья передачи, ступица колеса, а также подшипники и детали, удерживающие их. На рисунке 3 продемонстрированы фрагменты геометрического моделирования возможных пересечений. Соответственно, ограниченными оказываются и инструменты улучшения передачи передача. Минимизация ее размеров с учетом ограничений, вообще говоря, приводит к проектному решению, казавшемуся наилучшим.

Лучшая передача не есть лучшее решение для производства

«Затраты на зуборезный инструмент составляют не менее 50 % себестоимости зубообработки», – говорится в настольной справочной

книге [9, с. 105] советского производителя зубчатых передач. Можно оспаривать точность этой оценки, но не подлежит сомнению то, что доля этих затрат велика. Одним из эффективных способов их снижения является унификация зуборезного инструмента, позволяющая сократить его номенклатуру и стоимость изготовления и эксплуатации. В многономенклатурном производстве большое разнообразие производимых червячных передач заставляет производителя иметь столь же большое разнообразие непростых в изготовлении и эксплуатации зуборезных инструментов. На предприятии разработан и внедрен альтернативный подход – унификация спироидных и червячных фрез на основе расчета локализованного контакта (Трубачев Е. С. Метод расчета параметров станочного зацепления с геликоидной производящей поверхностью. Современные информационные технологии. Проблемы исследования, проектирования и производства зубчатых передач : сборник докладов международного научного семинара. 2001) и нового метода проектирования передачи [10], при котором каждый из имеющихся инструментов применяется для нарезания колес под червяки, имеющие разные числа заходов и диаметры. Наглядно эффект от его внедрения показан для примера из трех разных передач на рисунке 4.

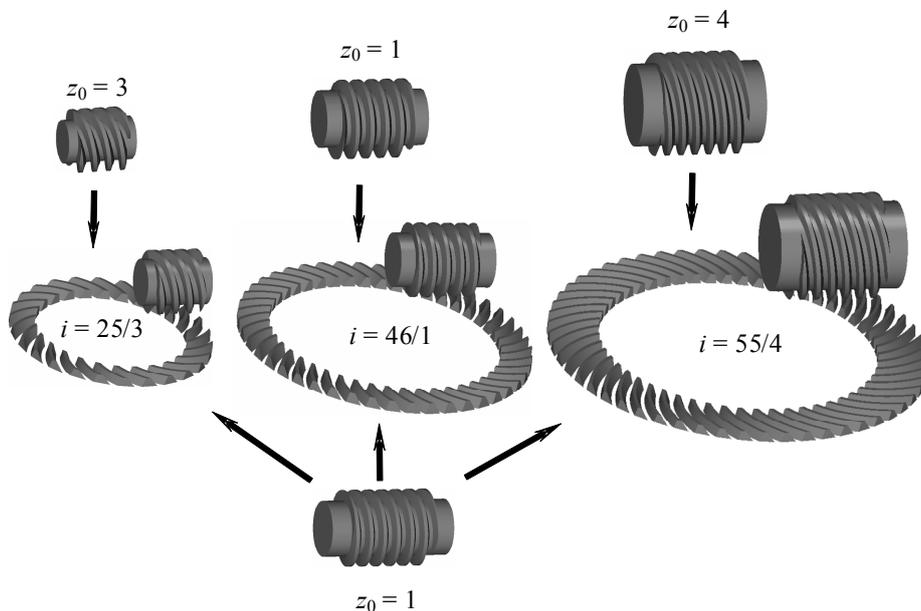
При новом подходе процесс проектирования подчинен условию выбора инструмента. Это также приводит к проектному решению, представляющемуся не лучшим, но обеспечивающему меньшие производственные затраты.



Традиционный подход (специальный инструмент)
Traditional approach (special tool)

Рис. 3. Фрагменты моделирования ограничений

Fig. 3. Fragments of modeling the restrictions



Новый подход (унифицированный инструмент)
New approach (unified tool)

Рис. 4. Подходы к проектированию и изготовлению передач червячного типа:
 z_0 – число заходов фрезы; i – передаточное число

Fig. 4. Approaches to design and manufacturing of worm-type gears:
 z_0 – thread number of the hob; i – gear ratio

В лучшем редукторе реализуются нелучшие передачи

Одним из общих свойств червячных передач, отличающих их, например, от цилиндрических и конических, является то, что соотношение размеров звеньев слабо зависит от передаточного отношения. Это, в частности, позволяет просто реализовать разные передаточные отношения в одном и том же корпусе, максимально используя его пространство. При этом сделать лучшую отдельно взятую передачу не означает добиться лучшего решения для редуктора, в котором реализуется несколько передаточных отношений. Максимальное улучшение каждой из реализуемых передач требует собственной комбинации параметров. Проектирование в этих условиях либо является компромиссом в удовлетворении требования улучшения каждой из передач, либо подчиняется требованию улучшения наиболее важных из них, остальные оказываются в той или иной степени неоптимальными.

Конечно, употребление сочетания «лучшая передача» подразумевает самое распространенное их значение – передача, обладающая наилучшими эксплуатационными характеристиками. На самом деле к слову «лучшая» следует добавлять «и удобная для производства, дешевая в производстве, технологичная». Комплексный учет этого может быть выражен в оптимизационном алгоритме, где компоновочные и технологические требования формулируются в виде ограничений-равенств и ограничений-неравенств. Условия соответствия требованиям эксплуатационных характеристик передачи и степени локализации контакта в зависимости от главной цели проектирования формулируются либо в виде ограничений-неравенств, либо в виде целевой функции, подлежащей минимизации или максимизации.

Пластическая деформация зубьев не только допустима, но необходима

Принято считать, что если на зубьях появляется пластическая деформация, то это конец передачи; такой деформации следует избегать, проверять ее отсутствие при проектировании передачи. При этом известны технологические методы, основанные на относительно небольшом пластическом деформировании деталей: выглаживание, дорнование, накатка, зубообкатка. Таким образом, принципиально этот эффект не является губительным. Более того, как показали исследования [11], он способствует уменьшению концентрации нагрузки в зацеплении, произошедшей в результате погрешностей и деформаций, а проектирование передачи, подразумеваю-

щее некоторую степень пластической деформации зубьев (обычно не более 0,03...0,05 мм), при условии правильной локализации контакта позволяет существенно улучшить массогабаритные и, как следствие, экономические показатели низкоскоростных редукторов.

Спироидные передачи с малыми передаточными отношениями

Традиционно предполагается, что червячные передачи удобны там, где требуется большая редукция в одной ступени. При малой редукции ($i \leq 8$) в червячной передаче появляются проблемы:

- неблагоприятно расположены силы, действующие в зацеплении (рис. 5, *a*);
- угол подъема витков червяка становится большим (более 20...25 град), что доставляет сложности в изготовлении и эксплуатации многозаходных фрез.

В преодолении первой проблемы вновь на выручку пришло более благоприятное направление действия результирующей силы в зацеплении (рис. 5, *b*). Исследования показали новое различие передач червячного типа: при уменьшении передаточного отношения сила в классическом червячном зацеплении увеличивается, а в спироидном – уменьшается. В этом отношении спироидная передача приближается к конкурентным и более традиционным решениям – конической и гипоидной передачам. Расчеты показали, что в спироидных передачах можно добиться снижения контактных напряжений и, соответственно, либо снижения размеров, либо повышения надежности решения. Но мы основываемся не только на расчетах. По рисунку 6, *a* можно оценить эффект в размерах от внедрения спироидных передач взамен конических и гипоидных в редукторе ТПА, а по рисунку 6, *b* – в редукторе сельскохозяйственного прессподборщика.

Главным практическим мотивом для создания обсуждаемой альтернативы является простота, гибкость и меньшая стоимость производства спироидных передач и его подготовки по сравнению с коническими и гипоидными передачами.

Новая реализация зуботочения

Кроме относительной дороговизны зубообработка является весьма трудной улучшаемым элементом технологии машиностроения. Десятилетиями устоявшимися (и во многих отношениях эффективными сравнительно с альтернативами) считаются методы обработки зубьев червячных и спироидных колес с помощью червячных фрез

на зубофрезерных станках, конических и гипоидных колес с криволинейными зубьями – с по-

мощью торцовых резцовых головок на специализированных зуборезных станках.

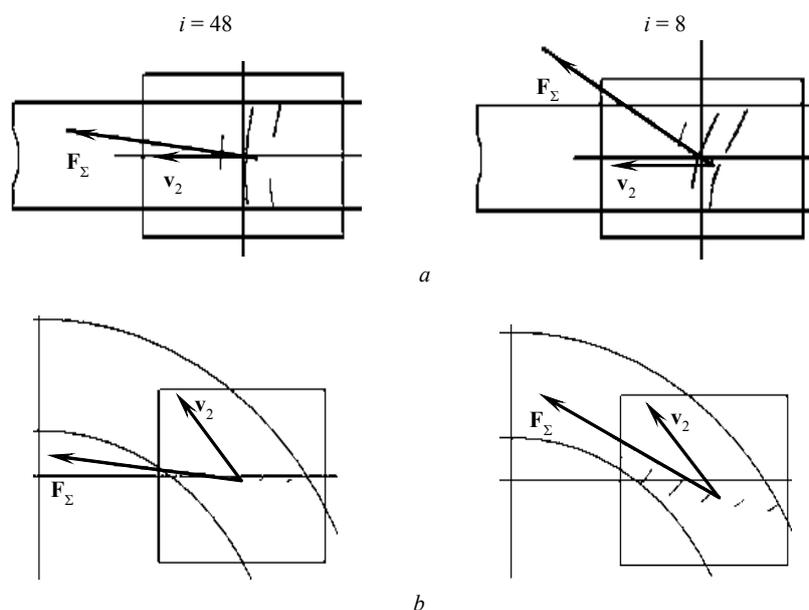


Рис. 5. Результирующая сила F_{Σ} в зацеплении и вектор v_2 окружной скорости колеса: а – червячная передача; б – спиридная передача

Fig. 5. The resultant force F_{Σ} in meshing and vector v_2 of the gearwheel speed: a - worm gear; b - spiroid gear

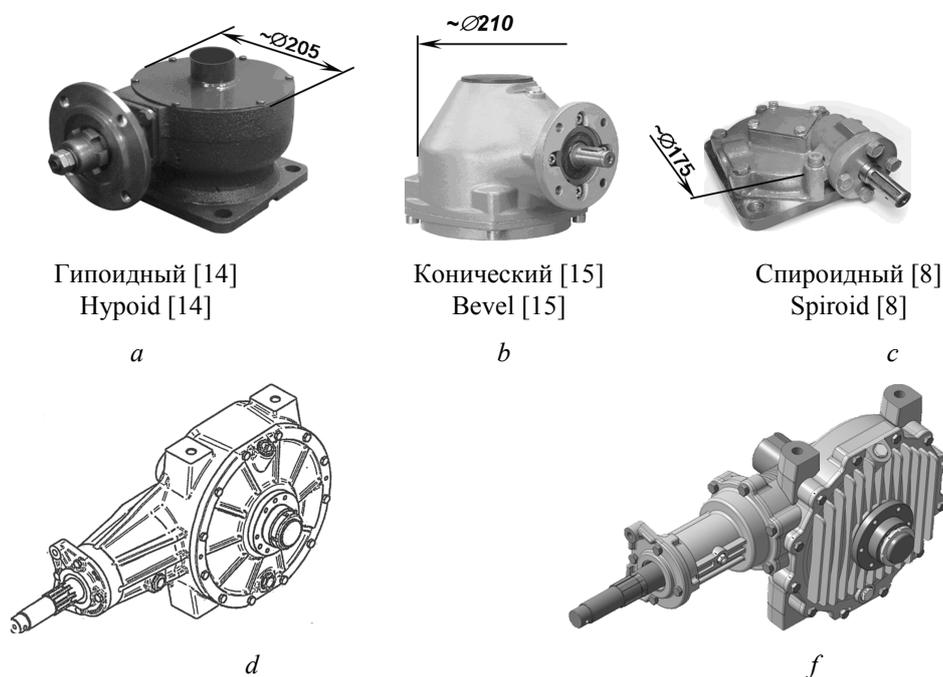


Рис. 6. Примеры спиридных редукторов взамен конических и гипоидных: а-с – редукторы ТПА с нагрузочным моментом 1000 Нм; d, f – редукторы прессподборщика

Fig. 6. Examples of spiroid gearboxes instead of bevel and hypoid ones: a-c - gearboxes for pipeline valves with the loading torque 1000 Nm; d, f - gearboxes for pick-up press

Источник: <http://kvar45.com/wp-content/uploads/2018/12/RK4.1-V.pdf>
<https://www.auma.com/en/products/multi-turn-gearboxes/bevel-gearboxes-gk/>
https://www.kleverltd.ru/upload/iblock/893/mgirkpwzis9fqzrq2lbcceo3e5c7n9u9/Katalog-detaley-i-sborochnykh-edinits-PPT_041-_10-versiya_.pdf

Была изобретена (Патент № 2787187 от 29.12.2023. Обкаточная головка с режущими пластинами для обработки зубьев червячных и спироидных колес / Трубачев Е. С., Богданов К. В., Пушкарева Т. А.) и внедрена в практику серийного производства [12] новая разновидность зуботочения спироидных, червячных и конических зубчатых колес – с помощью обкаточных резовых головок, оснащенных твер-

досплавными пластинами (рис. 7). Попутным важным эффектом от этого внедрения стала появившаяся возможность эффективного управления локализованным контактом для обеспечения нужного качества передачи и снижения ее шума. Особенно ярко преимущества данного метода проявились для многозаходных спироидных и червячных передач, обладающих малыми передаточными отношениями.

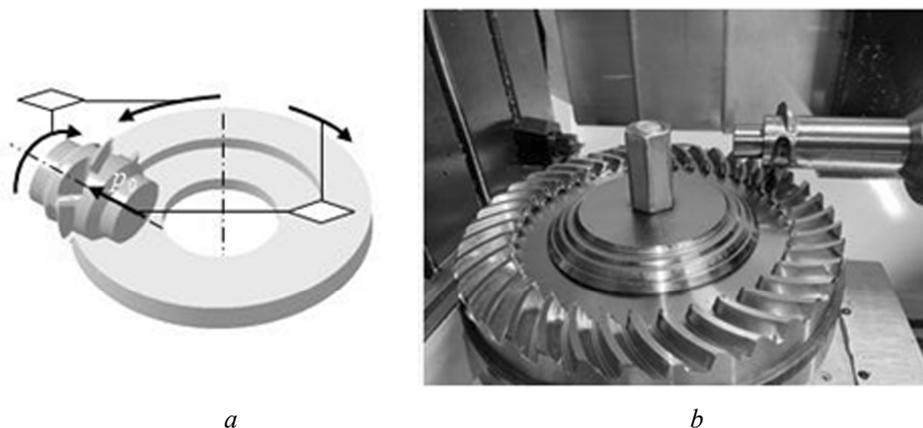


Рис. 7. Зуботочение с помощью обкаточной резовых головки: *a* – схема; *b* – реализация на станке

Fig. 7. Gear cutting by means of the running-in cutting head: *a* - Scheme; *b* - Machine-tool implementation

Червячные передачи со стальными колесами

Применение стали для червячных (не спироидных) колес время от времени привлекает внимание разработчиков и исследователей, поскольку прокатная и штампованная сталь, как правило, прочнее и дешевле традиционно применяемых бронзы и высокопрочного чугуна. Исключая малонагруженные передачи, нам почти неизвестны случаи удачных практических ре-

шений в этом вопросе. Главная причина этого – в резко ухудшенных условиях контакта в районе межосевой линии передачи, в скольжении практически вдоль линий сопряженного контакта (рис. 8, *a*), что ведет к заеданию, в случае стального колеса – к скрипу и резкому падению КПД с быстрым контактным разрушением. Предложены и внедрены в серийное производство два решения этой проблемы (по крайней мере для случая низких скоростей и высоких нагрузок).

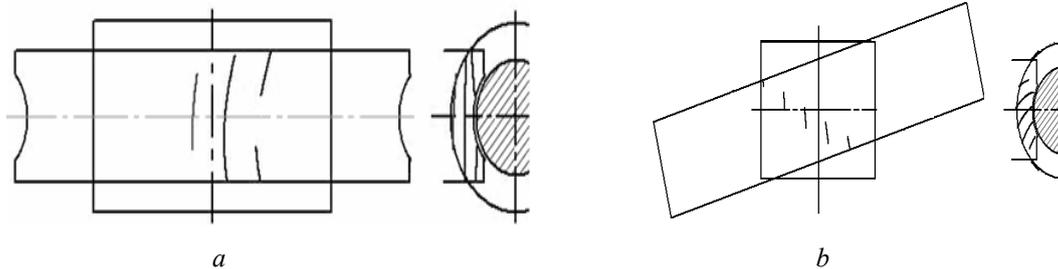


Рис. 8. Линии контакта в червячных передачах: *a* – традиционная червячная передача; *b* – неортогональная передача без осей зацепления

Fig. 8. Contact lines in worm gears: *a* - traditional worm gear; *b* - non-orthogonal gear without meshing axes

Первое из них – неортогональная червячная передача со специальным выбором параметров, в которой нет полюса зацепления [13], нет, таким образом, точек в пространстве, где вектор относительной скорости касался бы винтовой

линии червяка, и нет так называемых осей зацепления [14, с. 130]. При этом, как можно видеть по рис. 8, *b*, передача обладает искомым благоприятным расположением линий сопряженного контакта, что дает возможность применения

закаленной стали для колеса. Редуктор с такой передачей серийно производился в течение более 10 лет, развивая нагрузочный момент до 72 000 Нм и успешно конкурируя с традиционными зарубежными червячными редукторами на рынке приводов трубопроводной арматуры.

Второе решение – QN-передача, названная так из-за внешнего сходства с нотным знаком Quarter Note (рис. 9). Использовать часть традиционного венца червячного колеса и специальным образом подобрать параметры предложили российские специалисты (Патент 2136987 РФ, МПК F16H 1/16/(РФ). № 99103702/28. Червячная цилиндрическая передача / Егоров И. М., Иофик Б. Ш.), однако на практике это не было реализовано, по-видимому, потому, что при бронзовом колесе резкое уменьшение ширины венца по сравнению с традиционной червячной передачей не компенсировалось улучшением условий зацепления. Внесение нужной локализации контакта создало условия для применения закаленной стали и увеличения нагрузочной способности передачи (Патент № 2759961 от

19.11.2021. Цилиндрическая червячная передача / Трубачев Е. С.). Редукторы с QN-передачей активно внедряются в производстве взамен традиционных червячных и спироидных, обеспечивая лучшие массогабаритные и другие компоновочные и технологические преимущества.

Планетарная червячно-спироидная передача

Планетарные механизмы часто используются для большой редукции вращения. Сочетание передач червячного типа и планетарного движения в одном механизме (рис. 10) позволило достичь экстремально больших значений передаточного отношения в двух ступенях – от тысячи до нескольких сотен тысяч и даже более (Патент № 2701637 от 30.09.2019 г. Планетарный червячно-спироидный редуктор / Трубачев Е. С., Могильников А. В., Бармина Н. А.), [15]. Подобные механизмы следует отнести к разряду экзотических, применяемых в тех редких случаях, когда необходимы компактность, чрезвычайно низкие скорости, плавность и точность вращения.

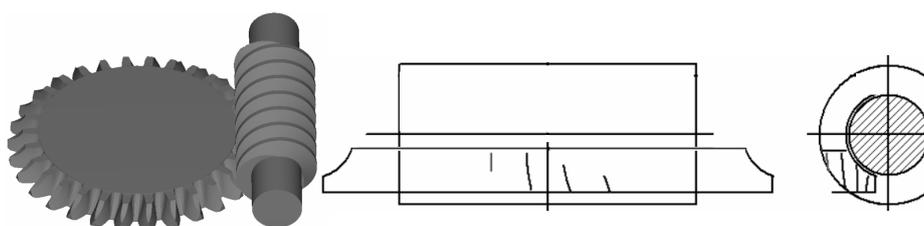


Рис. 9. QN-передача

Fig. 9. QN-gear

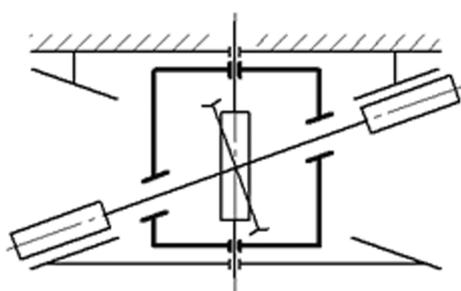


Рис. 10. Планетарная червячно-спироидная передача

Fig. 10. Planetary worm-spiroid gear

Выводы

В статье сделан обзор некоторых технических приемов и решений в области, которая в значительной мере считается раскрытой до исчерпывающей глубины и практической полезности как

в отношении проектирования, так и в отношении производства. Автор надеется, что эти примеры окажутся полезными для научного и инженерного сообщества.

Библиографические ссылки

1. Гольдфарб В. И. Научная школа Института механики в области развития теории и практики спироидных передач // Интеллектуальные системы в производстве. 2014. № 2 (24). С. 31–35.

2. Перспективы и задачи внедрения ERP-систем на предприятиях машиностроения и приборостроения / М. А. Разживина, Б. А. Якимович, А. И. Коршунов, И. Ю. Тюрин // Интеллектуальные системы в производстве. 2016. № 13(3), С. 39–41.

3. Goldfarb V.I. (2006) What we know about spiroid gearing. Proceedings of the International Conference on Mechanical Transmissions, China, vol. 1, Science Press, pp. 19-26.

4. Boloş V. (2010) Achievements of study concerning worm face gear. Made in Romania. Scientific Bulletin of the „Petru Maior” University of Tîrgu Mureş, vol. 7 (XXIV), no. 2, ISSN 1841-9267

5. Nelson W.D. (1957) Spiroid gearing. The American society of mechanical engineers: no. 57-A-162, USA, 1957.

6. Goldfarb V.I., Trubachev E.S., Pushkareva T.A., Savelyeva T.V. (2019) Comparative investigation of worm and spiroid gears with cylindrical worms. In: Uhl T (ed.) Advances in Mechanism and Machine Science, IFToMM WC 2019, Mechanisms and Machine Science, vol 73. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-20131-9_92

7. Trubachev E. (2023) Spiroid Gears as an Alternative to Bevel and Hypoid Gears. In: Radionov, A.A., Gasiyarov, V.R. (eds.) Proceedings of the 9th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38126-3_8

8. Спироидные редукторы трубопроводной арматуры : монография / В. И. Гольдфарб, Д. В. Главатских, Е. С. Трубочев [и др.]. М. : Вече, 2011. 224 с.

9. Производство зубчатых колес : справочник / под общ. ред. Б. А. Тайц. М. : Машиностроение, 1990. 463 с.

10. Trubachev E.S., Savelyeva T.V., Pushkareva T.A. (2018) Practice of design and production of worm gears with localized contact. In: “Advanced Gear Engineering”, Mechanisms and Machine Science 51, Springer International Publishing AG Switzerland, 2018, pp. 327-344. DOI: 10.1007/978-3-319-60399-5

11. Sannikov A.S. (2019) Numerical simulation of elastoplastic contact of heavy-loaded spiroid gears. MATEC Web Conferences, 287 (2019) 02005, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928702005>

12. Trubachev E.S., Bogdanov K.V., Pushkareva T.A. (2022) Advanced method of cutting spiroid, worm and bevel gearwheel teeth by running-in cutter heads. J Forsch Ingenieurwes, 86: 709-719. DOI: 10.1007/s10010-021-00536-0

13. Трубочев Е. С., Пузанов В. Ю. Новые свойства неортогональных червячных передач // Теория и практика зубчатых передач и редукторостроения : сб. трудов научно-технической конференции. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2008. С. 240–244.

14. Litvin Faydor L., Fuentes A. (2004) Gear Geometry and Applied Theory. Cambridge University Press, 2004.

15. Trubachev E.S., Mogilnikov A.V. (2019) Planetary mechanisms based on worm and spiroid gears. Advances in Mechanism and Machine Science. IFToMM WC 2019. Mechanisms and Machine Science, vol 73. Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9_91

References

1. Gol'dfarb V.I. (2014) [Science school of Institute of mechanics acting in development of theory and practice of spiroid gears]. *Intellectual'nye sistemy v proizvodstve*, 2014, no. 2 (24), pp. 31-35 (in Russ.).

2. Razzhivina M.A., Jakimovich B.A., Korshunov A.I., & Tjurin I.Ju. (2016) [Perspectives and tasks of ERP-system implementation in machinery plants]. *Intellectual'nye sistemy v proizvodstve*, 2016, no. 13(3), pp. 39-41 (in Russ.).

3. Goldfarb V.I. (2006) What we know about spiroid gearing. Proceedings of the International Conference on Mechanical Transmissions. China, vol. 1, Science Press, 2006, pp. 19-26.

4. Boloş V. (2010) Achievements of study concerning worm face gear. Made in Romania. Scientific Bulletin of the „Petru Maior” University of Tîrgu Mureş, vol. 7 (XXIV), no. 2, 2010, ISSN 1841-9267

5. Nelson W.D. (1957) Spiroid gearing. The American society of mechanical engineers: Paper no. 57-A-162. USA, 1957.

6. Goldfarb V.I., Trubachev E.S., Pushkareva T.A., Savelyeva T.V. (2019) Comparative investigation of worm and spiroid gears with cylindrical worms. In: Uhl T (ed) Advances in Mechanism and Machine Science, IFToMM WC 2019, Mechanisms and Machine Science, vol 73, Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-20131-9_92

7. Trubachev E. (2023). Spiroid Gears as an Alternative to Bevel and Hypoid Gears. In: Radionov A.A., Gasiyarov V.R. (eds). Proceedings of the 9th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38126-3_8

8. Gol'dfarb V.I., Glavatskih D.V., Trubachev E.S. (2011) *Spiroidnye reduktory truboprovodnoj armatury* [Spiroid gearboxes for pipeline valves]. Moscow, Veche Publ., 2011, 224 p. (in Russ.).

9. *Proizvodstvo zubchatyh koles* [Production of gears]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990, 463 p. (in Russ.)

10. Trubachev E.S., Savelyeva T.V., Pushkareva T.A. (2018) Practice of design and production of worm gears with localized contact. In: “Advanced Gear Engineering”, Mechanisms and Machine Science 51, Springer International Publishing AG Switzerland, 2018, pp. 327-344, ISBN 978-3-319-60398-8, DOI: 10.1007/978-3-319-60399-5

11. Sannikov A.S. (2019) Numerical simulation of elastoplastic contact of heavy-loaded spiroid gears. MA-

TEC Web Conferences, 287, 2019, 02005, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928702005>.

12. Trubachev E.S., Bogdanov K.V., Pushkareva T.A. (2022) Advanced method of cutting spiroid, worm and bevel gearwheel teeth by running-in cutter heads. *J Forsch Ingenieurwes* 86: 709-719. DOI: 10.1007/s10010-021-00536-0.

13. Trubachev E.S., Puzanov V.Yu. (2008) *Novyye svoystva neortogonal'nyh chervyachnyh peredach* [New properties of non-orthogonal worm gears]. Theory and practice of gears and gearboxes production: Proc. of the

scientific and technological conference. Izhevsk, 2008, pp. 240-244 (in Russ.).

14. Litvin Faydor L., Fuentes A. (2004) *Gear Geometry and Applied Theory*. Cambridge University Press, 2004.

15. Trubachev E.S., Mogilnikov A.V. (2019) Planetary mechanisms based on worm and spiroid gears / Uhl T. (eds) *Advances in Mechanism and Machine Science*. IFToMM WC 2019. Mechanisms and Machine Science, vol 73. Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-030-20131-9_91

Innovations in Engineering and Technology of Worm-Type Gears

E.S. Trubachev, DSc in Engineering, Professor, Institute of Mechanics n. a. prof. Goldfarb, Kalashnikov ISTU; MIP "Mechanic" Ltd., Izhevsk, Russia

Relatively small changes in engineering and technology of traditional established products turn over time into a series of milestones that determine both technical characteristics and production methods, and as a consequence - the competitiveness of the final product. Accordingly, it is relevant to periodically look at the evolution of the accumulated solutions and make some conclusions on it. For this purpose, the paper reviews innovations in design and production of worm-type gears obtained in Izhevsk scientific school in the field of gears for the last two decades: spiroid gears operating at low rotational speeds and transmitting high loads, leading to plastic deformations due to compactness of gears; spiroid gears with small gear ratios (3...8) competing with more expensive in production bevel and hypoid ones; worm gears with steel hardened gearwheels with increased strength and manufacturability; planetary spiroid gears providing extremely high gear ratio, improved methods and techniques of design and preproduction of gear cutting.

The paper presents the review of innovations in design of worm-type gears made in Izhevsk scientific school in the field of gears for the last two decades: spiroid gears for cases of low speeds and small gear ratios, worm gears with steel hardened gearwheels, planetary and spiroid gears, improved methods and techniques of design and preparation of gear cutting.

Keywords: worm gear, spiroid gear, innovations.

Получено 10.04.2024

Образец цитирования

Трубачев Е. С. Инновации в технике и технологии передач червячного типа // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2024. Т. 27, № 3. С. 16–25. DOI: 10.22213/2413-1172-2024-3-16-25

For Citation

Trubachev E.S. (2024) [Innovations in Engineering and Technology of Worm-Type Gears]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2024, vol. 27, no. 3, pp. 16-25 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2024-3-16-25