

УДК 621.646

А. С. Кузнецов, кандидат технических наук

Е. В. Лукин, аспирант

Ижевский государственный технический университет

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СПИРОИДНЫХ РЕДУКТОРОВ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

Рассматривается процесс разработки конкурентоспособных конструкций спироидных редукторов трубопроводной арматуры. Показана схема связей между этапами проектирования редукторов, позволяющая в большей мере формализовать весь процесс проектирования, нацелив его на создание оптимальных конструкций.

Ключевые слова: проектирование, конструирование, спироидные редукторы

Введение

Одной из перспективных областей применения современных редукторов является трубопроводная арматура (ТПА), где редукторы служат для увеличения вращающего момента, развиваемого электроприводом или оператором (посредством маховика), до значений, необходимых для управления арматурой. Известны конструкции редукторов ТПА с зубчатыми передачами, в том числе коническими, цилиндрическими и планетарными. Наиболее распространенными являются редукторы ТПА червячного типа. Они имеют компактную конструкцию, сравнительно малое число деталей, большое передаточное отношение, реализуемое в одной ступени, и просты в изготовлении. В последнее время [1] все большее распространение получают редукторы, в которых применяется прогрессивная разновидность передач червячного типа – спироидная. Эти редукторы имеют малые габаритные размеры и низкую металлоемкость, обеспечивая благодаря ряду благоприятных свойств спироидного зацепления [2, 3, 4] высокую надежность работы. Компактность указанных редукторов имеет следствием высокую степень нагруженности практически всех элементов конструкции: самой передачи, корпусных и крепежных деталей, подшипников и прочих.

Сказанное обуславливает актуальность формализации процесса проектирования спироидных редукторов ТПА, причем такой формализации, которая была бы нацелена на получение оптимальных решений. То, что решение этой задачи поможет вскрыть неиспользуемые до сих пор резервы, косвенно подтверждает тот факт, что за последние 15 лет, в течение которых разрабатывались и совершенствовались конструкции спироидных редукторов ТПА, их массогабаритные характеристики улучшились не менее чем в 1,3...1,5 раза. При этом указанные разработки и усовершенствования зачастую носили эвристический характер. Отметим при этом, что собственно разработка принципиальных вопросов проектирования указанных редукторов в существенной степени отстала от разработки вопросов проектирования спироидных передач таких редукторов [5].

Особенности конструкций спироидных редукторов

Разумеется, даже в компоновочном смысле конструкции спироидных редукторов могут различаться: только среди практически реализованных вариантов реше-

ний можно выделить три поколения редукторов. Сравнение различных вариантов не является предметом данной статьи, поэтому приведенные на рис. 1 и 2 и описываемые ниже конструкции даны с целью продемонстрировать главные составные части спироидных редукторов ТПА и их типовое взаимное расположение. Указанные редукторы бывают четвертьоборотными и многооборотными. Главными деталями четвертьоборотных спироидных редукторов ТПА являются (рис. 1):

- червяк 1 и колесо 2 спироидной пары, которые реализуют главную функцию редуктора – передавать и преобразовывать вращение; соответственно вращение от электропривода или оператора передается червяку, а преобразованный момент колеса передает на шток арматуры;
- корпус 3, имеющий две группы соосных друг другу поверхностей – под входной (червяк) и выходной (колесо) валы, а также присоединительные поверхности под выходной (основание) и входной фланцы;
- выходной фланец 4 (основание), служащий для соединения редуктора с арматурой и для размещения опор колеса – радиальной и одной из двух торцовых;
- входной фланец 5, который служит для присоединения электропривода (в исполнении редуктора под ручное управление фланец становится крышкой входного вала) и может нести радиальную и торцовую опору входного вала (червяка).

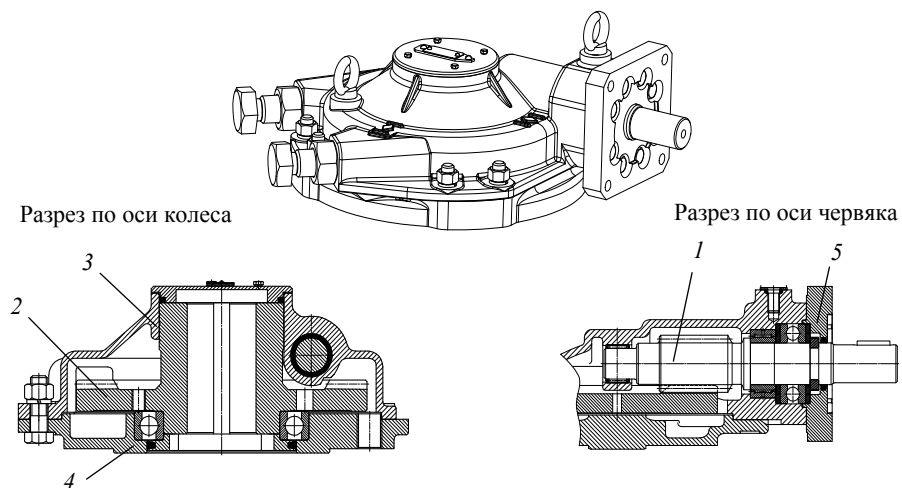


Рис. 1. Пример компоновки четвертьоборотного спироидного редуктора ТПА

Конструкции многооборотных редукторов (рис. 2) имеют следующие главные особенности:

- отсутствует ступица колеса или втулка для передачи вращающего момента на шток, момент передается с помощью торцовых кулачков (это продиктовано тем, что в отечественной практике арматуростроения, в отличие от зарубежного, преобладает вариант расположения ходовой гайки прямоходной арматуры в корпусе последней, а задача редуктора – передать преобразованное вращение на эту гайку);
- несколько большими являются отношения диаметров червяка и колеса, что необходимо для реализации сравнительно малых (до 6...8) передаточных отношений, которые нужны, в свою очередь, для того, чтобы сократить время оперирования арматурой.

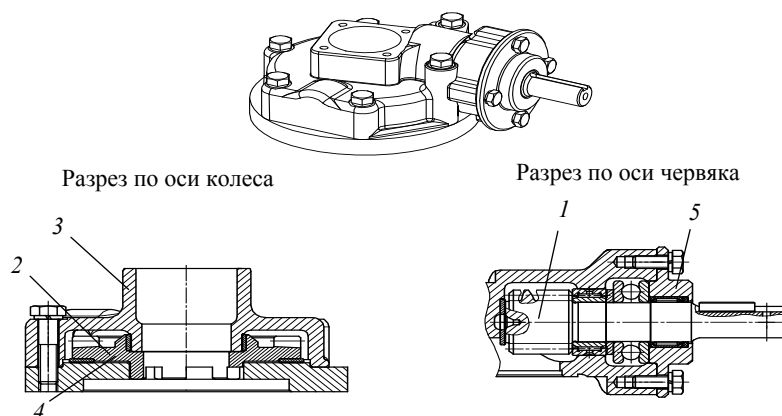


Рис. 2. Пример компоновки многооборотного спироидного редуктора ТПА

Аспекты оптимизационного проектирования спироидных редукторов ТПА

Как в общемашиностроительной практике, так и в практике проектирования специальной техники (как в нашем случае – спироидных редукторов ТПА) на этапе конструирования изделий возможны решения, принимаемые «по конструктивным соображениям» и часто именно поэтому не являющиеся оптимальными с точки зрения эксплуатационных и стоимостных критериев. Поставленную выше цель создания оптимизационного проектирования спироидных редукторов можно понимать как перенос определения большей части параметров редукторов и их элементов из области конструирования в область проектирования – обоснования соответствующих расчетными процедурами, реализующими, с одной стороны, выполнение требований технического задания и, с другой стороны, достижение наивысших глобальных и локальных критериев качества проектного решения.

Критерии качества [6], по которым производится предпочтение и выбор проектных решений, традиционны. Это коэффициент полезного действия η , габариты, масса, себестоимость редуктора. Оценить первые три критерия при соответствующей формализации процесса проектирования достаточно просто.

Достоверно оценить себестоимость, особенно на ранних стадиях проектирования, сложно и в ряде случаев практически невозможно. Поэтому на практике, во-первых, отдают предпочтение эксплуатационным оценкам проектируемого изделия и его частей, попутно производя технико-экономические оценки принимаемых решений, либо укрупнено (относительная масса – масса/момент крутящий [кг/кН·м]), либо для отдельных частей изделия (например, для корпусных деталей – продолжительность обрабатываемых поверхностей и доступность их для обработки производственными методами), во-вторых, в той или иной степени подробности рассматривают несколько возможных вариантов решения в рамках одной и той же идеи конструкции.

Решение задачи проектирования возможно при соответствующей организации процесса проектирования редуктора, который может быть представлен в виде схемы взаимосвязей этапов проектирования, укрупненно представленной на рис. 3 [7]. Эта схема, разумеется, является наследницей традиционной последовательности проектирования редуктора, состоящего из последовательно выполняемых [8, 9]: проектирования сопряженного зацепления (ПСЗ); синтеза локализованного контак-

та (СЛК); конструирования узлов и деталей редуктора; расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) деталей и соединений; нормирования точности, анализа зацепления с учетом погрешностей (анализ реального зацепления – АРЗ) и технологического проектирования.

Стрелки и сплошные линии означают, что результаты проектирования на одном из соединяемых ими этапов (начало стрелки) являются исходными данными для другого (конец стрелки). Стрелки и пунктирные линии означают обратные связи – данные, необходимые для корректировки ранее принятого решения. Конечно, таких обратных связей на самом деле больше: на любой текущей стадии проектирования могут возникнуть основания вернуться на любую из предыдущих стадий.

Важная особенность, на которую мы хотели обратить внимание, возникает в результате максимального сокращения массогабаритных и стоимостных характеристик редуктора: параметры элементов конструкции оказывают взаимное влияние (в отличие от случая, когда выбор каких-то параметров является следствием выбора других, т. е. имеется не взаимная, а односторонняя расчетная связь).

Во-первых, взаимное влияние проявляется в смысле силового взаимодействия. Например, параметры передачи определяют уровень и характер усилий, воспринимаемых опорами, – соответственно выбор типа и размера опор. Имеется и обратная связь: выбор опор определяет деформации элементов конструкции и, как следствие, распределение нагрузки в зацеплении и прочность передачи, – соответственно может потребоваться некоторая корректировка параметров передачи. Схожие соображения можно привести относительно связей, соединяющих блоки нормирования точности, синтеза локализованного контакта и анализа зацепления с учетом погрешностей.

Во-вторых, очевидным для максимально компактных конструкций является и взаимное влияние их элементов в геометрическом смысле – из-за усиления опасности появления пересечения последних, таких, например, как пересечение опор червяка и внутреннего или наружного цилиндра колеса, пересечение элементов корпуса под размещение червяка (горловина корпуса) и колеса, имеющего сравнительно большое центральное отверстие, и т. п. [10]. Контроль этих ограничений актуален и для элементов станочной наладки, например: для зубообработки колеса – пересечение тела фрезы и ступицы колеса. Расчетные процедуры для оценки пересечений однотипны (пересечение двух цилиндров, цилиндра и конуса, цилиндра и окружности и т. п.) и вынесены в отдельный расчетный блок.

Третьим аспектом, принятым во внимание, является связь проектирования собственно редуктора и технологического проектирования. Во многих случаях эта связь является односторонней, исходящей из принципа «необходимо иметь». Соблюдение противоположного принципа – «необходимо использовать» – с одной стороны, позволяет экономить средства на изготовление технологической оснастки (сложного зуборезного инструмента, сложных станочных приспособлений), время технологической подготовки производства, но одновременно накладывает дополнительные ограничения на принимаемые проектные решения.

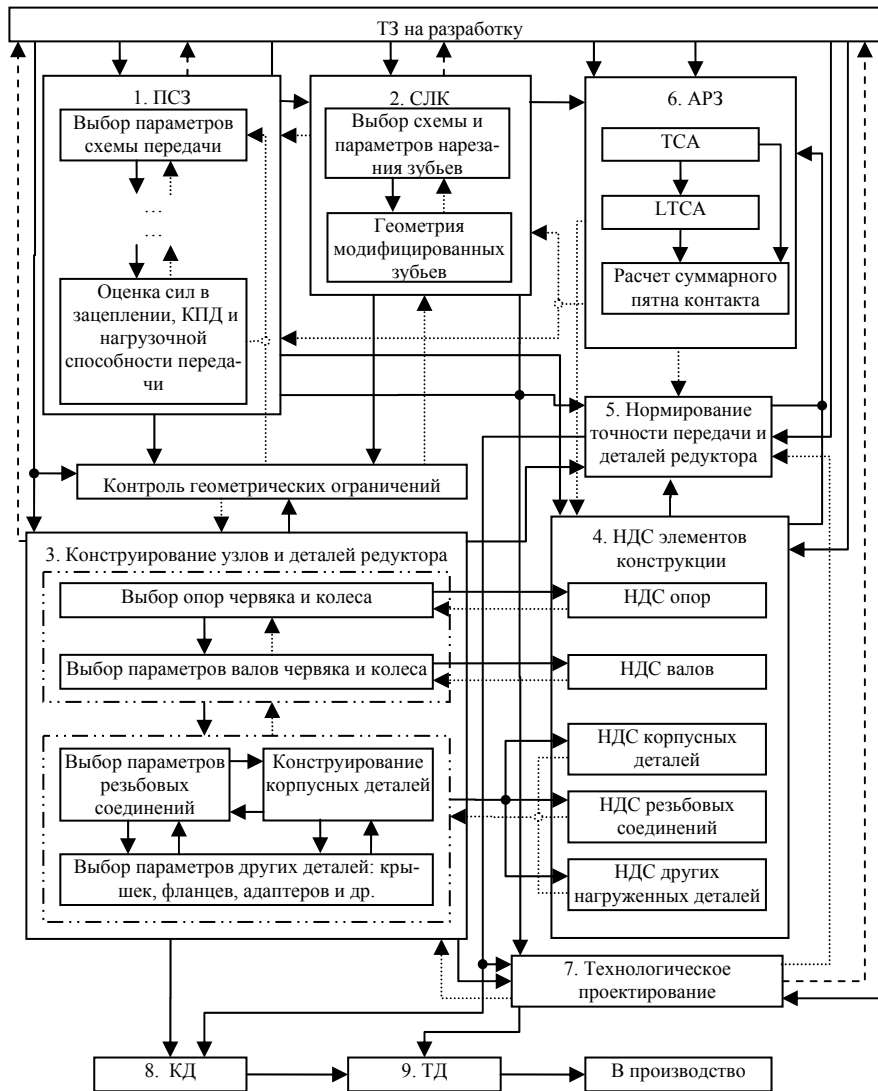


Рис. 3. Общая схема проектирования редуктора

Заключение

Настоящая статья не содержит рекомендаций по проектированию спироидных редукторов ТПА, сформулированных в явном виде. Она в определенном смысле является одной из первых статей [11, 12], в которых опыт разработки конструкций таких редукторов представлен не в виде описания результатов, а в виде описания самого процесса проектирования. Разумеется, обобщения такого рода необходимо продолжить, поскольку, во-первых, для этого есть богатый материал, накопленный в Институте механики ИжГТУ, и, во-вторых, можно с уверенностью утверждать, что такая работа дает хороший результат в виде создания конкурентоспособных образцов приводной техники для арматуры.

Библиографические ссылки

1. Спироидные редукторы трубопроводной арматуры / Гольдфарб В. И. [и др.]. – М. : Вече, 2011. – 222 с.
2. Гольдфарб В. И. Основы теории автоматизированного геометрического анализа и синтеза червячных передач общего вида : дис. ... д-ра техн. наук. – Ижевск, 1985. – 415 с.
3. Кузнецов А. С. Теоретическое и экспериментальное исследование статической нагруженности спироидной передачи : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2005. – 186 с.
4. Трубачёв Е. С. Основы анализа и синтеза зацепления реальных спироидных передач : дис. ... д-ра техн. наук. – Ижевск, 2004. – 347 с.
5. Спироидные редукторы трубопроводной арматуры.
6. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества : учеб. пособие для студентов вузов. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
7. Спироидные редукторы трубопроводной арматуры.
8. Там же.
9. Гольдфарб В. И., Спиридонов В. М., Голубков Н. С. Разработка тяжело нагруженных низкоскоростных спироидных мотор-редукторов // Сборник докладов международного научного семинара «Современные информационные технологии. Проблемы исследования, проектирования и производства зубчатых передач». – Ижевск, 2001. – С. 50–55.
10. Спироидные редукторы трубопроводной арматуры.
11. Там же.
12. Гольдфарб В. И., Спиридонов В. М., Голубков Н. С. Разработка тяжело нагруженных низкоскоростных спироидных мотор-редукторов.

A. S. Kuznetsov, Candidate of Technical Sciences, Izhevsk State Technical University

E. V. Lukin, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

On Design Optimization of Pipeline Fittings Spiroid Gearboxes

The development of competitive spiroid gearbox designs for pipeline valves is considered. The scheme of interconnections between stages of gearbox design is shown, allowing formalization of the whole design process to a greater extent, focusing the process on the creation of optimal layouts.

Keywords: design, design development, spiroid gearbox.

Получено: 11.11.11

УДК 621.822

Е. В. Лукин, аспирант

В. Ю. Пузанов, аспирант

Ижевский государственный технический университет

**ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ ОПОР
ЧЕРВЯКОВ СПИРОИДНЫХ И НЕОРТОГОНАЛЬНЫХ
ЧЕРВЯЧНЫХ РЕДУКТОРОВ ПРИВОДОВ ТПА**

Приведены требования, предъявляемые к приводам трубопроводной арматуры, указаны конструктивные ограничения, а также достоинства и недостатки типовых схем опор червяков, описаны особенности силового расчета и конструирования опор червяков.

Ключевые слова: проектирование, подшипниковые опоры, редукторы трубопроводной арматуры