

УДК 621.7:589.011.46

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ОСНОВЕ ВОЛНОВЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

С.С. Прокшин, Е.В. Шалобаев

Предложена конструкция редуктора с волновой передачей с гибкими подшипниками, которая позволяет дополнительно уменьшить массогабаритные параметры электропривода запорной трубопроводной арматуры.

Ключевые слова: электропривод, редуктор, волновые передачи, гибкие подшипники, крестовина.

Введение

В настоящее время развернулись широкие работы по модернизации действующих и строительству новых трубопроводов (большой частью нефте- и газопроводов, а также систем паропроводов и охлаждения на АЭС) [1–7]. Одна из задач, которую при этом необходимо решить – создать современную инфраструктуру, которая включает в себя разнообразные запорные устройства. Одним из основных элементов последних являются электроприводы трубопроводной арматуры (ТПА).

Ведущие производители многооборотных электроприводов ТРА применяют в своих конструкциях различные схемы расположения осей исполнительного двигателя и выходного звена электропривода, которые во многом обусловлены типом применяемого редуктора и исполнительного двигателя, а также требованиями экономики и эргономики [2].

Схема с пространственным расположением осей исполнительного двигателя и выходного звена электропривода широко применяется в конструкциях электроприводов таких фирм как ГЗ «Электропривод», «Тулаэлектропривод» (Россия), AUMA (Германия), «ZPA Rescu» (Чешская республика). Применение данной схемы обеспечивает минимальный размер по высоте, однако длина и ширина электропривода оказываются значительными [3–7].

Тулским государственным университетом совместно с ОАО «Мичуринский завод «Прогресс» разработана конструкторская документация на многооборотный интеллектуальный электропривод запорной ТПА с соосным (аксиальным) расположением осей [8] исполнительного двигателя и выходного звена электропривода 7МРЭП-110-00/280. Электропривод построен на базе многопоточного планетарного редуктора [9] и малогабаритного вентильного электродвигателя с постоянными магнитами.

Ведутся работы по модернизации и оптимизации конструкции не только собственно зубчатых передач, но и опор [10–11].

Целью данной работы является выработка мер по повышению эффективности применения ряда конструктивных приемов, позволяющих уменьшить массогабаритные характеристики редуктора и привода в целом за счет опор.

Гибкие подшипники – конструктивный прием, снижающий массогабаритные характеристики

Одним из дальнейших путей оптимизации конструкций редукторов с волновыми зубчатыми передачами (ВЗП) электропривода запорной ТПА по критериям минимальной массы и габаритов в диапазоне вращающих моментов 7000–15000 Н·м является использование гибких подшипников.

При использовании кулачкового генератора, который имеет форму эллипса, возможна ситуация, когда применение подшипников [12], производимых в соответствии с техническими требованиями по [13], приводит к неоправданному увеличению габаритов передачи: интервал диаметров наружных колец стандартных подшипников неприемлемо велик – подшипники № 824 и № 830 отличаются по внешнему диаметру на 40 мм, а подшипники № 848 и № 860 – на 80 мм. Устранение такого ограничения привело к следующему результату.

На рис. 1, 2, показана конструкция гибкого подшипника генератора с телами качения цилиндрической формы (например, роликами из шарикоподшипниковой стали ШХ 15, поставляемыми в виде свободных деталей или игольчатыми роликами по [14]) в двух видах – вдоль и перпендикулярно оси вращения.

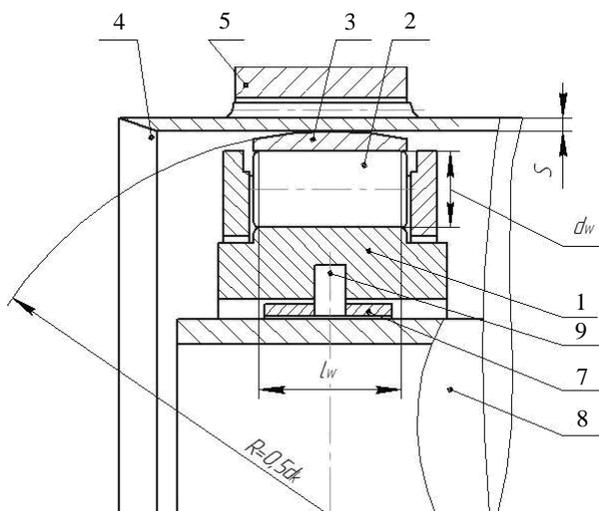


Рис. 1. Вид волнового редуктора вдоль оси вращения

Кулачок 1 взаимодействует с телами качения – роликами 2, образуя с ними линейный контакт. Ролики 2 перекатываются по цилиндрической поверхности кольца 3, имеющего внешнюю сферическую форму с радиусом $R = 0,5d_k$, сопряженную с внутренней поверхностью гибкого колеса 4 (d_k – диаметр внутреннего цилиндра колеса 4 в недеформированном состоянии). Ролики (рис. 2) размещены в гнездах сепаратора, разъемного в осевом направлении и состоящего из обоймы 6 и кольца 7, охватывающих кулачок 1 с обеих сторон.

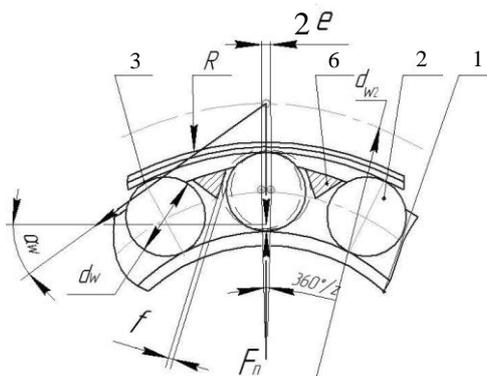


Рис. 2. Вид волнового редуктора в плоскости, перпендикулярной оси вращения

Для двухволнового генератора нагрузка F_n , приходящаяся на один внешний контакт ролика с поверхностью кулачка 1, определяется по формуле

$$F_n = 4,37 F_\tau \operatorname{tg}(\alpha_w) / 2z = 4,37 \cdot 2000 T_q \operatorname{tg}(\alpha_w) / d_{w2} z, \quad (1)$$

где d_{w2} – начальный диаметр эпицикла 5 м; z – число роликов в гибком подшипнике; α_w – угол зацепления в ВЗП; T_q – момент на гибком колесе 4 Н·м; F_τ – допустимая сила, направленная по касательной (Н).

Используем формулу Герца для линейного контакта, представленную в следующем виде:

$$\sigma_n = 0,148 (E_{\text{пр}} F_n / l_w \rho_{\text{пр}})^{0,5}. \quad (2)$$

Определяем относительную длину Ψ_l и относительный диаметр Ψ_d ролика, средний диаметр кулачка генератора D_m , приведенный радиус кривизны в точке контакта ролика с поверхностью кулачка генератора $\rho_{\text{пр}}$ по формулам (3–6):

$$\Psi_l = l_w / d_w \quad (3)$$

$$D_m = d_k - 2(S + d_w), \quad (4)$$

$$\rho_{\text{пр}} = \rho_w \rho_k (\rho_w + \rho_k). \quad (5)$$

Подставляя в формулу (2) выражения (1), (3)–(5), получаем формулу для диаметра тела качения – ролика в виде

$$d_w = 3300 (T_q \operatorname{tg}(\alpha_w) / \Psi_l)^{0,5} / d_{w2} \sigma_{\text{НР}}, \quad (6)$$

где $E_{\text{пр}}$ – приведенный модуль упругости (принимается $E_{\text{пр}} = 0,215 \cdot 10^6$ МПа); S – толщина гибкого колеса (указана на рис. 1); $\rho_w = 0,5d_w$ – радиус тела качения; $\rho_k = 0,5d_k$ – радиус кольца; $k = 3300 (\text{Н} \cdot \text{мм})^{0,5}$ – размерный коэффициент. Допускаемое контактное напряжение $\sigma_{\text{НР}}$ определяется так же, как для обычных подшипников качения [15].

Важным элементом конструкции подшипника является сепаратор, определяющий упорядоченное движение роликов по эллиптической поверхности кулачка генератора 1. Каждый ролик при прохождении по кулачку движется с переменной скоростью и совершает колебательное движение относительно выбранного «нулевого» положения в гнезде сепаратора на величину $\pm e$. Это явление может быть компенсировано зазорами f (рис. 2).

В реализованной конструкции зазор f соответствует величине деформирования гибкого колеса, сепаратор выполнен из углеродистой стали. При радиусе $R_m \approx 120$ мм подшипник со стандартными роликами ($d_w = 25$ мм; $L = 40$ мм) показывает достаточную нагрузочную способность при $T_q = 15000$ Н·м с генератором, содержащим 24 ролика.

Заключение

Сравнение предлагаемой конструкции с аналогами показывают ее высокую эффективность. В частности, приводы с червячной передачей фирмы ROTORK и приводы типа ЭВИМТА допускают удельный момент 9,4–19 Н·м/кг, тогда как предлагаемый привод – 100–120 Н·м/кг, т.е. имеет десятикратное преимущество.

Объемные параметры предлагаемого волнового редуктора относительно классических схем, изложенных в трудах проф. Е.Г. Гинзбурга, уменьшены на 15–25% в основном за счет изменения конструкции гибкого колеса – перехода от асимметричной относительно плоскости, перпендикулярной оси вращения, конструкции типа «стакан» к симметричной типа «труба». При этом уменьшается длина гибкого колеса по оси. Передача движения от колеса к валу происходит за счет четырех пальцев (своеобразных направляющих типа «крестовина»).

Объемные характеристики привода определяются в основном размерами механизма ручного дублера.

Литература

1. Йонатис Р.Р. Перспективные требования к модернизации трубопроводной арматуры для АЭС // Арматуростроение. – 2004. – № 1. – С. 13–15.
2. Гуревич Д.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры: промышленная трубопроводная. Конструирование трубопроводной арматуры. 5-е изд. – М.: ЛКИ, 2008. – 416 с.
3. Гольдфарб В.И., Трубачев Е.С. Что делать и чего не делать при выборе и проектировании редукторов ТПА // Арматуростроение. – 2010. – №1. – С. 30–35.
4. Каталог продукции. Приводы трубопроводной арматуры. – Ижевск: НПП «Механик», 2008. – 23 с.
5. Мозжечков В.А. Третье поколение тульских электроприводов для атомных станций – серия ЭП 4 // Арматуростроение. – 2010. – № 2. – С. 82–85.
6. Гольдфарб В.И., Главатских Д.В., Трубачев Е.С., Кузнецов А.С., Иванов Д.Е., Лукин Е.В., Пузанов В.Ю. Спиroidные редукторы трубопроводной арматуры. – М.: Вече, 2011. – 222 с.
7. Итбаев В.К., Прокшин С.С., Громаковский Д.Г., Васильев А.В. Волновая зубчатая передача в электроприводах трубопроводной арматуры // Вестник СГАУ им. С.П. Королева. – 2009. – № 4. – С. 123–127.

8. Шалобаев Е.В., Монахов Ю.С. Оптимизация габаритов соосных схем редукторов // XXXII неделя науки СПбГУ. 24–29 ноября 2003 г. Материалы межвузовской конференции. – СПб: СПбГУ, 2004. – С. 113–115.
9. Сидоров П.Г., Пашин А.А., Плясов А.В. Многопоточные зубчатые передачи: структура, образование, кинематические и силовые связи, классификация и перспективы применения // Приводная техника. – 2010. – № 4. – С. 25–30.
10. Шалобаев Е.В. Модернизированные редукторы отечественного производства // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел, 2010. – № 6/2. – С. 105–115.
11. Прокопенко В.А., Чернов И.А. Динамика шпиндельных гидростатических подшипников при использовании диафрагменных регуляторов // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2011. – № 3. – С. 57–61.
12. ГОСТ 23179-78. Подшипники гибкие шариковые радиальные. – Введ. 01.01.80. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 118 с.
13. ГОСТ 520-2002. Подшипники качения. Общие технические условия. – Введ. 01.07.2003. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 70 с.
14. ГОСТ 6870-81. Подшипники качения. Ролики игольчатые. Технические условия. – Введ. 01.01.82. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 10 с.
15. Трение, изнашивание и смазка. Справочник. В 2 кн. Кн. 2 / В.В. Алисин, Б.М. Асташкевич, Э.Д. Браун и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 358 с.

Прокин Сергей Сергеевич

– Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ), кандидат технических наук, доцент, okmim@ugatu.ac.ru

Шалобаев Евгений Васильевич

– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, профессор, директор Академии методов и техники управления, shalobaev47@mail.ru