

ДВУХСТУПЕНЧАТЫЙ ВОЛНОВОЙ РЕДУКТОР С ПРОМЕЖУТОЧНЫМИ ТЕЛАМИ КАЧЕНИЯ

Катаев А.В.¹, Буранов Р.В.², Петухов Е.А.²

¹*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия;*

²*Российский государственный аграрный университет-МСХА
имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*

Ключевые слова: передаточный механизм, передаточное число, передаточное отношение, волновая передача, редуктор, тело качения, эксцентриситет, усеченная эпициклоида, шаговый двигатель, нема 17.

Аннотация. К рассмотрению принимается вопрос об обеспечении в передаточном механизме большого передаточного числа с минимизацией габаритных размеров, что было достигнуто применением двух волновых ступеней, имеющих жесткую кинематическую связь. Первая ступень относится к волновой передаче, профиль рабочих колес которой имеет модифицированную форму зуба. Вторая ступень относится к волновой передаче с промежуточными телами качения, выходным валом которой является сепаратор, а телами качения – подшипниковые шарики. Значение углового люфта составляет 7 угловых минут, передаточное отношение равно 238.

TWO-STEP WAVE GEAR WITH INTERMEDIATE ROTATION BODIES

Kataev A.V.¹, Buranov R.V.², Petukhov E.A.²

¹*Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia;*

²*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Russia*

Keywords: transmission mechanism, gear ratio, wave transmission, gearbox, rolling element, eccentricity, truncated epicycloid, stepper motor, nema 17.

Abstract. The issue of providing a large gear ratio in the transmission mechanism with minimization of overall dimensions is being considered, which was achieved by using two wave stages with a rigid kinematic connection. The first stage is a wave transmission with a modified tooth profile. The second stage is a wave transmission with intermediate rolling elements, where the output shaft is a separator and the rolling elements are bearing balls. The angular backlash is 7 angular minutes, and the gear ratio is 238.

Изменение частоты вращения и крутящего моменты в приводе достижимо передаточным механизмом. Для минимизации частоты вращения ходового винта разработан двухступенчатый волновой редуктор. Вращение винта осуществляется шаговым двигателем типа Nema 17. Волновой редуктор используется для привода ходового трапецеидального винта с номинальным диаметром резьбы 8 мм. Двухступенчатый редуктор имеет передаточное отношение, равное 238:

$$i = i_1 \cdot i_2 = 17 \cdot 14 = 238. \quad (1)$$

В разработанном механизме происходит обкатывание рабочих колес, при котором в постоянном контакте находятся сразу несколько зубьев колеса

или шариков, что устраняет угловой зазор, значительно повышает точность, надежность и ресурс работы [1]. Редуктор включает в себя две ступени – рисунок 1. Первая ступень имеет модифицированную форму зуба, близкую к профилю Новикова [2].

Первая ступень соединена с валом электродвигателя через эксцентрик 2. Величина эксцентриситета одинакова для обеих ступеней и составляет величину в 1 мм. Для рассогласованного вращения рабочего колеса 1 и эксцентрика они соединяются с помощью однорядного шарикового подшипника. Вторая ступень соединена с первой с помощью вала 4 на рабочем колесе 1. Вал выполнен заодно с колесом. Исключение относительного поворота ступеней достигается штифтами 3, которые изготовлены заодно с корпусом первой ступени – во второй ступени имеются ответные отверстия. Посадка штифтов и отверстий H7/js6. Для рассогласованности вращений колеса 1 и эксцентрика 5 также применяется однорядный подшипник. Вторая ступень имеет профиль усеченной эпициклоиды, по впадинам которой перемещаются подшипниковые шарики 6, диаметром 4,5 мм.

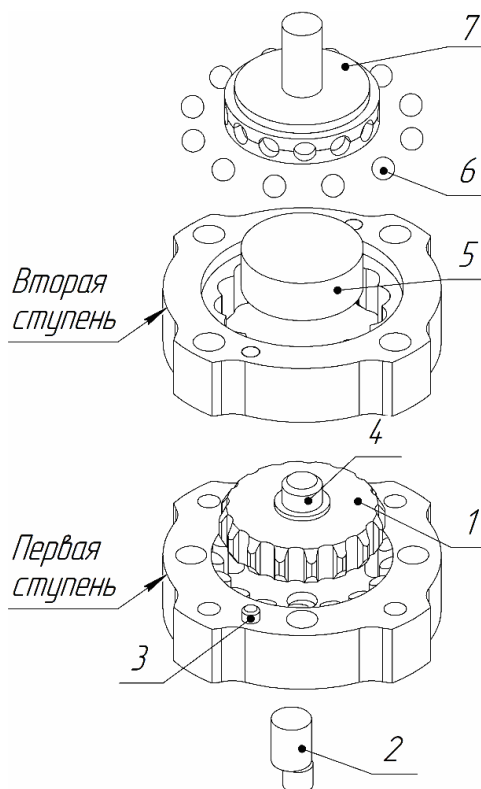


Рис. 1. Двухступенчатый редуктор

Профиль эпициклоиды рассчитан по известным параметрическим уравнениям [с. 25, 3]. В качестве выходного вала используется сепаратор 7.

Корпуса ступеней и рабочее колесо 1 изготовлены из алюминиевого сплава Д-16Т фрезерованием. Эксцентрик 5, сепаратор 7 стальные (сталь 40Х), шарики 6 применяют сталь ШХ15.

Угловой люфт рассчитан по методике, описанной в работе [2]. Исходными данными для расчета люфта при сборке редуктора являются:

1. Максимальное значение зазора между кольцами и шариками двух подшипников EBF 688 2RS. Зазор составляет 13 мкм.

2. Максимальные зазоры сопряжения штифт 3 – отверстие (рис. 1). Зазор составляет 13 мкм.

3. Допуски на диаметральный размер шариков 6-25 мкм.

Суммарный зазор на сторону при сборке редуктора:

$$\Delta = 2 \cdot 3 + 13 + 25 = 64 \text{ мкм} . \quad (2)$$

Угловой люфт определен как отношение суммарного зазора Δ и среднего диаметра рабочего колеса d_{cp} :

$$\beta_1 = \arctan\left(\frac{\Delta}{d_{cp}}\right) = \arctan\left(\frac{0,064}{32}\right) = 0,115^\circ. \quad (3)$$

Угловой люфт целесообразно рассчитывать, исходя только из погрешностей сборки, так как зубчатое зацепление при столь малых размерах не вызывает существенный вклад в точность редуктора. Таким образом, угловой расчетный люфт редуктора составляет 7 угловых минут. Для проверки расчетных данных требуется экспериментальное подтверждение.

Полученный волновой редуктор отличается малыми габаритными размерами и сопрягаем с шаговым двигателем типа Nema 17. Редуктор служит альтернативой планетарным редукторам, чьи точностные параметры и передаточное отношение значительно уступают рассмотренному выше.

Список литературы

1. Панкратов Э.Н., Шумский В.В., Лушников С.В. Волновые редукторы с промежуточными звеньями // Бурение и нефть. – 2003. – №2. – С. 28-30.
2. Степанова Д.Л., Никулин П.А., Крауиньш П.Я., Байдали С.А. Исследование параметров точности волнового редуктора для обеспечения корректной работы в условиях пониженных температур // Интернет-журнал «Науковедение». – 2017. – Т. 9, №5. – С. 40.
3. Янгулов В.С. Геометрические и конструктивные соотношения в волновых передачах с промежуточными телами качения // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312, №2. – С. 24-27.

References

1. Pankratov E.N., Shumsky V.V., Lushnikov S.V. Wave reducers with intermediate links // Drilling and Oil. 2003, no. 2, pp. 28-30.
2. Stepanova D.L., Nikulin P.A., Krauins P.Ya., Baidali S.A. Research of the accuracy parameters of a wave reducer to ensure correct operation at low temperatures // Internet journal «Science studies». 2017, vol. 9, no. 5, p. 40.
3. Yangulov V.S. Geometric and constructive relations in wave transmissions with intermediate rolling bodies // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. 2008, vol. 312, no. 2, pp. 24-27.

Катаев Андрей Васильевич – инженер отдела разработки технологий и мультифункциональных покрытий деталей сельскохозяйственной техники	Kataev Andrei Vasilievich – engineer of the Department of technology development and multipurpose coatings of agricultural machinery parts
Буранов Роман Вадимович – студент	Buranov Roman Vadimovich – student
Петухов Егор Александрович – студент	Petukhov Egor Aleksandrovich – student
katayev02@internet.ru	

Received 14.02.2026