

## **ВОЗМОЖНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕДУКТОРОВ TWINSPIN В ПРИВОДНЫХ СИСТЕМАХ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ И МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ**

**Друк Александр Дмитриевич**

бакалавр, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, РФ, г. Москва

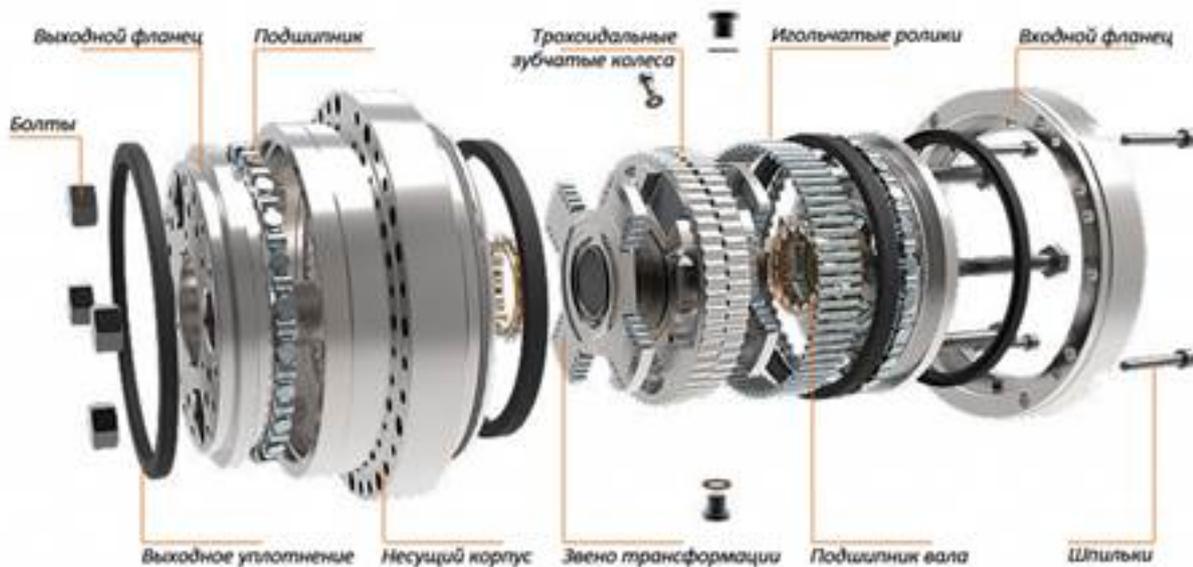
**Аннотация.** В данной работе обсуждаются перспективы использования подшипниковых редукторов для конструирования приводов робототехнических систем. Рассмотрено проведение предварительного расчета привода.

**Ключевые слова:** подшипниковый редуктор, привод, TwinSpin, промышленный робот.

Промышленные роботы выполняют всё более сложные задачи. Для того, чтобы последовательность их движений протекала без помех и сложная техника была всегда готова к использованию, требуется высочайшее качество даже мельчайших деталей. Центральным элементом при этом является редуктор: он управляет пространственными движениями манипуляторов робота.

Подшипниковые редукторы TwinSpin(ТС) представляют собой высокоточные редукторы, основанные на новом редукционном механизме и решении конструкции выходного радиально-упорного подшипника. Понятие „подшипниковый редуктор“ выражает полную интеграцию высокоточной коробки передач и радиально-упорного подшипника в одом целом. Эта новая трансмиссионная концепция позволяет использовать ТС редукторы непосредственно в качестве шарниров роботов, поворотных столов или в качестве колесных коробок передач транспортных систем [1]. Подшипниковые редукторы ТС предназначены для применения, при котором нужно высокое передаточное отношение, высокая кинематическая точность, небольшой мертвый ход, высокая моментная емкость и высокая жесткость при компактной конструкции с небольшим пространством застройки и небольшой массой.

Запатентованная конструкция редуктора (рис.1) представляет собой циклоидальный механизм, основанный на принципе гибридного редуктора: интеграции в одном компактном корпусе циклоидной передачи и радиально-упорного подшипника.



**Рисунок 1. Конструкция редуктора TwinSpin**

Передача крутящего момента осуществляется при этом без использования классического зубчатого зацепления трением т.к. на нагрузку в конструкции в полной мере принимают и передают игольчатые ролики, расположенные в противопазах трохойдальных зубчатых колес. В результате нагрузка распределяется равномерно на возможно большее число роликов (до 50%), что, благодаря достигнутому эффекту обегаящего зацепления качения, максимально уменьшает трение скольжением.

Конструкция редуктора технологически позволяет получать различные передаточные отношения до 191 в одной ступени, затормаживая корпус, входной и выходной вал, обеспечивая самые эффективные: крутящие и опрокидывающие моменты, передаточные отношения из расчета на единицу эффективной массы изделия, а также высокую жесткость на кручение. Благодаря такой конструкции приводимое в движение оборудование может обходиться без дополнительных подшипников, т.к. сам редуктор исполняет роль кинематической опоры.

Основные части подшипникового редуктора:

- Несущий корпус содержит высокочастотные, радиально-упорные, выходные подшипники, интегрированные в редукторе. Уплотнение со стороны выходного фланца устраняет возможность внутренней контаминации (загрязнения) коробки передач или всасывание смазки из редуктора.
- Фланцы входные и выходные фланцы соединены пригнанными винтами и вращаются в радиально-упорном выходном подшипнике с редуцированной скоростью по отношению к несущему корпусу.
- Входной вал - высокооборотный член редукционного механизма. Он установлен с помощью роликоподшипников во фланцах. Орбиты подшипников расшлифованы непосредственно на вале и фланцах. На вале находятся эксцентрики, на которых вращательно опираются колеса через роликоподшипники.
- Циклоидальные зубчатые колеса, в которых почти 50% одновременно зацепляющих циклоидальных зубьев передает высокий крутящий момент, обеспечивающий беззазорный ход редуктора.

- Трансформаторный член трансформирует планетарное движение колес во вращательное движение пары фланцев.

Для задач робототехники и автоматизации редукторы TwinSpin представляют особый интерес в связи наличием исключительно трения чистого качения внутри редуктора и одной ступени редукции с очень высоким передаточным отношением, от 33 до 191 [2]. Эти два свойства улучшают финальные характеристики робота, такие как воспроизводимая точность, динамичные движения плеч, операционные расходы, низкая вибрация и низкий уровень шума.

Ключевой особенностью применения редукторов TwinSpin в робототехнических системах является возможность изменения структуры привода исполнительного органа, его скорости, а также перестраивания редуктора в процессе эксплуатации, что обеспечивается модульной конструкцией редуктора. Разработаны различные варианты соединения редуктора с серводвигателем: фланцевое; посредством ременной передачи; с помощью муфты; с использованием муфты и промежуточного фланца.

Решение интегрировать подшипники непосредственно в редуктор позволяет упростить дизайн работа, что положительно сказывается на снижении издержек производства, т.к. не требуется дополнительно устанавливать дорогостоящие и габаритные подшипники. На рис. 2 представлены промышленный робот FANUC LR MATE, все 6 приводных осей которого оснащены редукторами TwinSpin, а также манипулятор типа SCARA Wittman Robots W832 pro в котором за счет применения редукторов ТС удалось увеличить компактность привода практически без увеличения суммарного момента инерции по отношению к валу двигателя.



Рисунок 2. Промышленный робот FANUC LR Mate и Wittman Robots W832 pro с кинематикой, основанной на рычажной системе



Долговечность подшипниковых редукторов ТС зачастую обусловлена в первую очередь долговечностью роликовых подшипников на эксцентриках входного вала. Долговечность определяется по уравнению:

$$L_R = k * \left( \frac{n_R}{n_a} \right) * \left( \frac{T_R}{T_a} \right)^{\frac{10}{3}}$$

$k$  - номинальная долговечность [ч],  $L_R$  - требуемая долговечность [ч],  $T_a$  - средний выходной крутящий момент [Нм],  $n_a$  - средние входные обороты [об/мин],  $T_R$  - номинальный крутящий момент [Нм],  $n_R$  - номинальные входные обороты [об/мин]

Что касается предельной нагрузки, благодаря роликовым выходным подшипникам, значения радиальной и осевой нагрузок практически независимы.

Опрокидывающий момент выражается уравнением:

$$M_c = F_R * a + F_a * b$$

$a$  - плечо действия  $F_R$  [м],  $F_R$  - радиальная нагрузка [Н],  $b$  - плечо действия  $F_a$  [м],  $F_a$  - осевая нагрузка [Н],  $M_c$  - опрокидывающий момент [Нм]

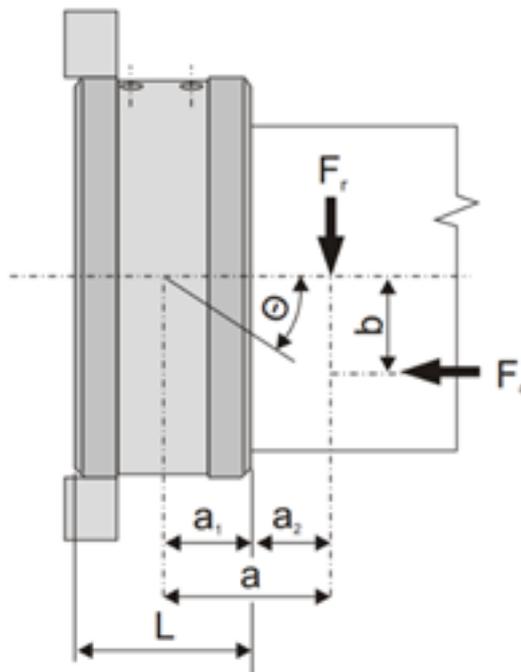
Редукторы TwinSpin могут передавать внешнюю силовую и моментную нагрузку с помощью интегрированных выходных радиально-упорных подшипников. При нагрузке выходного фланца, угол отклонения фланца пропорционален действующему опрокидывающему моменту.

Моментная жесткость  $M_t$  - это опрокидывающий момент, при котором выходной фланец опрокидывается на угол  $\Theta = 1'$ .

Угол опрокидывания  $\Theta$  выходного фланца (Рис. 3) определяется по уравнению:

$$\Theta = \frac{F_R * a + F_a * b}{M_t}$$

$\Theta$  - угол опрокидывания выходного фланца [arcmin],  $M_t$  - моментная жесткость [Nm/arcmin]



*Рисунок 3. Угол опрокидывания выходного фланца*

#### **Заключение:**

Уникальная конструкция редукторов TwinSpin позволяет найти для них широкое применение в робототехнике. Для редукторов характерны отличные динамические характеристики, высокая торсионная жесткость и жесткость опрокидывания, плавность работы, низкие вибрации, компактный дизайн, простота монтажа, надежность и длительный срок службы. Линейка, представляемая компанией Spinea достаточно широка, и предоставляет широкий диапазон, как по типоразмерам, так и по нагрузочным коэффициентам. Использование редукторов TwinSpin положительно сказывается на стоимости производства робота, а также способствует уменьшению его габаритов и веса, с сохранением требуемых характеристик.

#### **Список литературы:**

1. Semjon J., Hajduk M., Jánoš, R., Tuleja P.: Procedure selection bearing reducer twinspace for robotic arm. In: Applied Mechanics and Materials. Vol. 245 (2013), p. 261-266
2. Подшипниковый редуктор твинспин TwinSpin. Каталог. Spinea, 2006. – 88 с.