УДК 621. 817

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-6-253-59-61

*А. В. Попов, И. В. Нотов, А. А. Рожнов***СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ
В ЭЛЕМЕНТАХ РАЗЛИЧНОГО КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ
ШАРНИРНОГО СОЕДИНЕНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: apopov34@rambler.ru

Рассмотрены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния различных конструктивных решений шарнира сферического преобразующего механизма для плавно регулируемых приводов. Приводятся сравнения нагруженности шарнира при использовании промежуточной втулки из различных материалов и без нее. Обоснованы рекомендации по проектированию такого элемента с учетом особенностей работы.

Ключевые слова: сферический механизм, бесступенчатый привод, шарнирное соединение.

*A. V. Popov, I. V. Notov, A. A. Rozhnov***COMPARATIVE ANALYSIS OF STRESS DISTRIBUTION IN ELEMENTS
OF DIFFERENT DESIGN OF HINGE JOINT OF SPHERICAL MECHANISM****Volgograd State Technical University**

Results of simulation of stress-strain state of various design solutions of hinge of spherical converting mechanism for stepless drives are considered. Comparisons of hinge loading are given when using an intermediate bushing made of various materials and without it. Recommendations for designing such an element taking into account the peculiarities of the work are justified.

Keywords: spherical mechanism, stepless drive, hinged joint.

Современные регулируемые приводы для преобразования вращательного движения ведущего вала в колебательное движение ведомого звена основаны, главным образом, на плоских схемах механизмов. Большая часть из них представлены шарнирными четырех- и пятизвенными механизмами. Такие конструкции имеют повышенные габариты, сложны в изготовлении, регулировке и обладают внутренними дополнительными динамическими нагрузками. Последнее вызывает виброн нагруженность привода при высоких скоростях движения звеньев, что требует усиления подшипниковых опор и предусматривает установку балансированных масс, что ведет к увеличению массогабаритных показателей машины в целом. В сферических механизмах, как известно, траектории движения звеньев расположены на концентрических сферах, что лишает их указанных недостатков. Кроме этого, конструктивные решения для них позволяют в ряде случаев использовать формы звеньев в виде колец различного диаметра, которые соединяются в определенном порядке диаметрально расположенными шарнирами.

Для реализации распространенных передаточных функций на основе сферических меха-

низмов авторами были разработаны схемы плавно регулируемых трансмиссий для мало-мощной техники [1, 2, 3]. В основе этих приводов использованы в качестве преобразователя движения сферические механизмы с двумя и тремя степенями свободы. В работах [4, 5] авторами, исходя из геометрических соотношений звеньев, были определены условия конструктивного исполнения основных схем компоновки сферических механизмов, а также проанализированы напряженно-деформированные состояния звеньев и составляющих элементов (в том числе шарнирных соединений). В результате анализа [6] распределения напряжений, во внутреннем кольце были выявлены завышенные их значения в местах соединения с ведущим валом. Это потребовало более детального рассмотрения вопроса повышения долговечности и обоснования выбора материалов и конструктивного решения этого соединения [7].

Для отдельного исследования нагруженного состояния шарнирного соединения ведущего вала сферического механизма была разработана и создана пространственная трехмерная виртуальная модель (рис. 1), на основе которой производилось моделирование напряженно-деформированного состояния элементов конструк-

ции, в частности ведущего вала 1, оси 2 и внутреннего кольца 3. Также разработанная модель позволяет рассматривать и сравнивать варианты конструктивного исполнения соединения (с установкой втулок 4 и без них) и варьировать характеристиками и сочетаниями материалов деталей.

Рис. 1. Пространственная модель внутреннего шарнирного соединения сферического механизма: 1 – ведущий вал; 2 – ось; 3 – внутреннее кольцо; 4 – втулки

В процессе исследования было выявлено, что наибольшие нагрузки воспринимает со

пряжение оси 2 с ведущим валом 1, в то время как сопряжение названной оси с внутренним кольцом 3 имеет относительно небольшие и мало изменяющиеся нагрузки в виду малого угла относительного поворота за рабочий цикл.

На рис. 2, а изображен смоделированный вариант распределения внутренних напряжений элементов шарнирного соединения конструктивного исполнения без использования втулки. Как было ранее отмечено, между осью и ведущим валом наблюдаются близкие к критическим значениям напряжения.

С целью уменьшения трения и снижения вредных сопротивлений при взаимном провороте элементов шарнира на необходимый угол в соединении оси с ведущим валом добавлен промежуточный элемент – втулка. На рис. 2, б и в показаны результаты моделирования напряженно-деформированного состояния такого конструктивного решения. Следует заметить, что такое исполнение шарнирного соединения снижает концентрацию напряжений в теле ведущего вала.

Рис. 2. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния внутреннего шарнира без втулки (а), с втулкой из латуни ЛЦ40С (б), с втулкой из полимерного пластика ZEDEX ZX-100K (в)

Оптимизация конструкции шарнирного соединения и выработка рекомендаций по проектированию сведена к выбору материала для втулки исходя из уменьшения локальных напряжений. Для этого проведен ряд моделирований нагружений с втулкой, выполненной из материалов с различными физико-механическими свойствами. Для сравнения приведены эпюры напряжений в соединении для вариантов, где втулка, выполнена из латуни ЛЦ40С с временным сопротивлением 215 МПа (рис. 2, б) и из термопластичного материала на основе полиэтилентерефталата с антифрикционными свойствами ZEDEX ZX-100K с временным сопротивлением 125 МПа (рис. 2, в). Последний вариант при прочих равных условиях нагружения, с точки зрения уменьшения концентраций

напряжений в зоне контакта оси с валом, оказался наиболее благоприятен (отмечено снижение на 20 %). Кроме этого, данный материал допускает увеличение максимальной скорости относительного перемещения между элементами шарнирного соединения (даже без смазочных материалов) до 200 м/мин, что положительно скажется на износостойкости такого соединения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ на изобретение № 2586803, МПК F16H29/04. Импульсный вариатор / А. В. Попов ; ВолгГТУ. – 2016.
2. Патент РФ на изобретение № 2586430, МПК B60K17/34, B60K23/08. Привод колес транспортного средства с передним и задним ведущими мостами / А. В. Попов, И. В. Нотов ; ВолгГТУ. – 2016.

3. Патент РФ на изобретение № 2652359, МПК B60K17/348 Транс-миссия двухосного полноприводного транспортного средства / А. В. Попов, А. А. Рожнов ; ВолгГТУ. – 2018.

4. *Попов, А. В.* Условия конструктивного исполнения и анализ напряженно-деформированного состояния звеньев сферического преобразующего механизма с тремя степенями свободы / А. В. Попов, И. В. Нотов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 4 (227) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 42–45.

5. *Попов, А. В.* Выбор конструкции и особенности напряженно-деформированного состояния шарнирных элементов преобразующего сферического механизма / А. В. Попов, И. В. Нотов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 10 (233) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 62–64.

6. *Попов, А. В.* Исследование распределения напряжений в шарнирном элементе ведущего кольца сферического преобразующего механизма / А. В. Попов, А. А. Рожнов, И. В. Нотов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 4 (239) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 28–30.

7. *Попов, А. В.* Обоснование конструктивного решения внутреннего шарнирного соединения сферического механизма на основе моделирования напряженно-деформированного состояния / А. В. Попов, А. А. Рожнов, И. В. Нотов // Жизненный цикл конструкционных материалов (от получения до утилизации) : материалы X всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (г. Иркутск, 22–24 октября 2020 г.) / под ред. С. А. Зайдеса ; Иркутский национальный исследовательский технический ун-т. – Иркутск, 2020. – С. 50–53.