УДК 621.01

Я.А. Андреева, И.А. Жуков

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ СЛОЙНОСТИ МНОГОСАТЕЛЛИТНЫХ САМОУСТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Решение задач исследований анализа и синтеза механических систем, содержащих зубчатые и рычажные звенья, начинается с разработки кинематических схем, т.е. с изучения строения, структуры механизма. Как правило, кинематические или структурные схемы изображают в плоскости движения составляющих механизм звеньев, т.е. в плоскости, перпендикулярной геометрическим осям используемых в схемах кинематических пар – шарниров. Такой подход не дает исчерпывающих сведений в доказательство работоспособности создаваемого механизма. Не каждая схема, прорисованная в плоскости движения звеньев, оказывается проворачиваемой, т.е. реально работоспособной. Изображение механизмов в профильной плоскости дает наглядное представление о том, как должны быть расположены звенья, чтобы они «не мешали» друг другу при движении. На практике проблема слойности механизмов [1, 2] передается на рассмотрение конструкторов, которые занимаются проектированием уже кинематически и динамически исследованных механизмов.

Профильное рассмотрение механизмов широко используется для исследования сложных зубчатых редукторов – планетарных и замкнутых дифференциальных. На рисунке 1 показан односателлитный планетарный механизм, изображенный в фасной (рис. 1,а) и профильной плоскостях (рис. 1,б). Такой механизм работает в трех слоях: I – слой, в котором работают центральное колесо и сателлит; II – слой, в котором устанавливается шарнир, соединяющий сателлит и водило; III – слой, в котором соединяется водило со стойкой (опорным колесом).

Принципиальная особенность кинематических цепей зубчато-рычажных механизмов заключается в том, что в них используются высшие кинематические пары, пары четвертого класса, которые не требуют совместного – связанного движения звеньев. Являясь парами неудерживающими, звенья в них контактируют в точках, последовательно входящих в соединение, и поэтому не возникает надобности в создании для них параллельных слоев. Одноподвижные кинематические пары – шарниры связывают геометрические оси звеньев постоянно, и выстроить такие пары в один слой, зачастую, не представляется возможным. Именно поэтому планетарный механизм, показанный на рисунке 1, создается в три слоя – по числу использованных в нем вращательных кинематических пар.

В работах [3-5] доказано, что для создания без избыточных связей планетарных механизмов с числом сателлитов больше одного, необходимо дополнительные сателлиты устанавливать через посредство соединения групп рычажных звеньев, как это показано для двух- [6] трех- [7] и четырехсателлитных [8] механизмов на рисунке 2. При таком исполнении механизмов обеспечивается свободное, безызносное движение сателлитов, увеличивается срок службы планетарного редуктора и мощность передается всеми сателлитами за все время работы механизма.

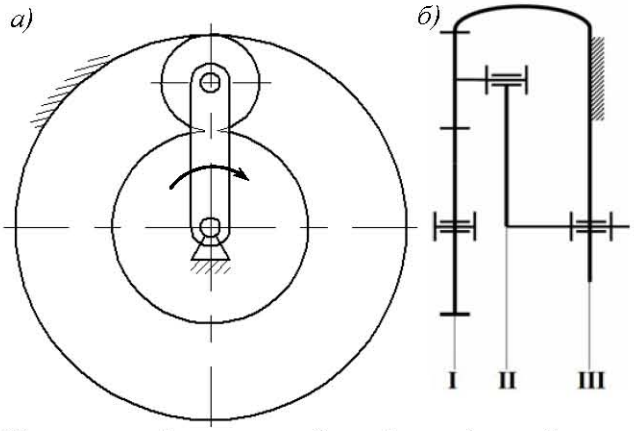

Рис. 1.Планетарный механизм в фасной и профильной плоскостях

При создании самоустанавливающихся планетарных механизмов, в состав которых входят не только зубчатые колеса, но и рычажные звенья, число слоев, в которых этот механизм может быть размещен, рассчитывается согласно

$$f_{max} = p_5 - k + 1 \qquad (1)$$

где f_{max} – максимальное количество слоев,

p_5 – число кинематических пар пятого класса – шарниров,

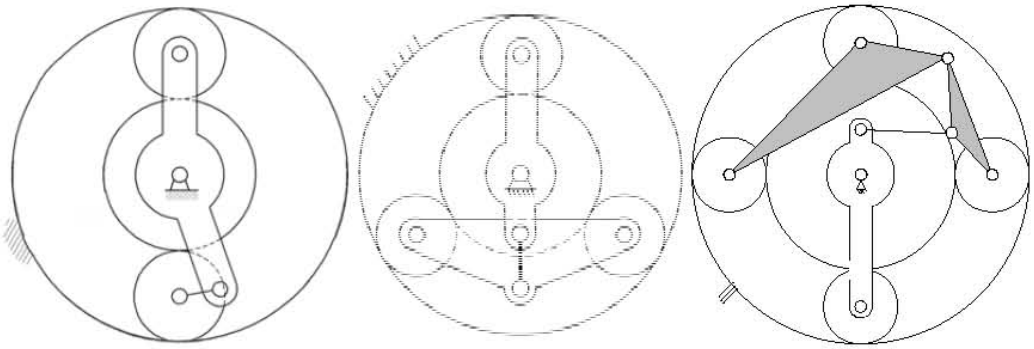

Рис.2.Самоустанавливающиеся многосателлитные планетарные механизмы

k – количество сателлитов планетарной передачи.

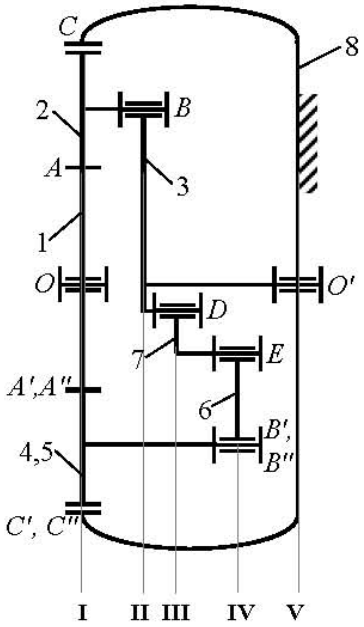

Рис. 3. Трехсателлитный планетарный механизм в профильной плоскости

Обратимся к рассмотрению слойности трехсателлитного планетарного механизма [7], показанного на рис. 2,б. Этот механизм включает в себя три сателлита (k=3), и семь вращательных кинематических пар ($p_5 = 7$). Согласно (1), механизм может быть выполнен пятислойным:

$$f_{max}=7-3+1=5$$

Схема такого механизма в профильной плоскости показана на рис. 3.

Количество слоев может быть уменьшено за счет расположения некоторых рычажных звеньев в один слой. Так на рис. 4 представленные возможные конструктивные варианты расположения трехсателлитного планетарного механизма по слоям в зависимости от расположения шарниров и исполнения рычажных звеньев 3, 6 и 7. На рис. 4,а механизм выполнен четырехслойным за счет расположения шарниров B и E в одном слое II. На рис. 4,б показан механизм, расположенный в трех слоях за счет установки шарнира D в пространстве между сателлитами 4 и 5 слоя I. На рис. 4,в также показан трехслойный планетарный механизм, в котором в одном слое расположены вращательные пары B, D и E.

Необходимо отметить, что формула (1) применима для определения максимального количества слоев, в которых может быть расположен механизм, только для планетарных передач, т.к. фактически все рычажные звенья, входящие в их состав, вращаются вокруг неподвижной центральной геометрической оси, что позволяет разместить несколько шарниров одного звена в один слой.

Входящая в формулу (1) цифра «1» отражает слой расположения вращательной кинематической пары, образованной водилом и неподвижным звеном – корончатым колесом. В некоторых системах автоматизированного проектирования механических систем смоделированный в трёхмерном пространстве планетарный механизм легко может быть поделен по слоям посредством представления механизма в профильной плоскости. Очевидно, что в силу совмещения шарниров O и O' в одном слое (центральное звено и водило вращаются относительно одной неподвижной оси), максимальное количество слоев планетарного механизма определится по формуле $f_{max}= p_5 -k$. Так, на рис. 5 показана трехмерная модель трехсателлитного планетарного механизма, выполненного в соответствии с конструктивным решением проблемы слойности, при котором механизм размещается в 4 слоя.

Результаты определения максимального количества слоев для многосателлитных самоустанавливающихся планетарных механиз-мов сведены в табл. 1, из которой очевидно, что

$$f_{max}= k+2 \qquad (2)$$

Таблица 1. Количество слоев, в которых размещаются многосателлитные самоустанавливающиеся планетарные механизмы

Рисунок №	1	2,*а*	2,*б*	2,*в*
Кол-во сателлитов, k	1	2	3	4
Кол-во кинематических пар, p_5	3	5	7	9
Максим/ кол-во слоев, f_{max}	3	4	5	6

Из формул (1) и (2) выражается условие

$$p_5 =2k+1 \qquad (3)$$

которое определяет количество кинематических пар пятого класса, входящих в состав планетарно-

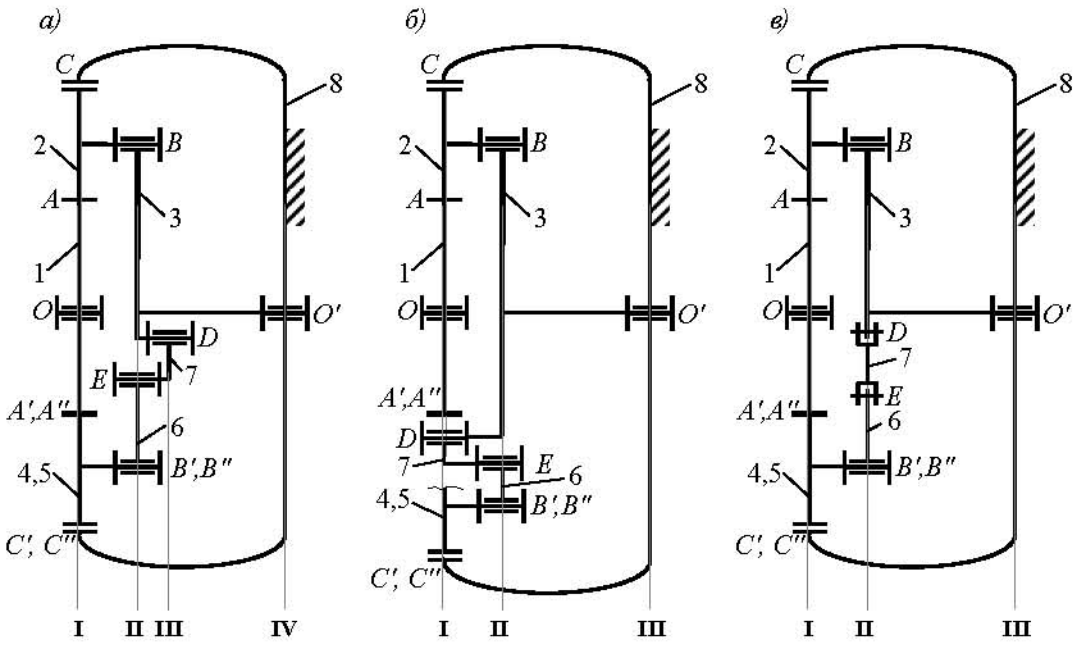

Рис. 4.Варианты конструктивных решений трехсателлитных планетарных механизмов

го механизма, необходимое для и устранения в нём избыточных связей и обеспечения самоустанавливаемости.

Исследование планетарных механизмов в фасной плоскости позволяет решать ряд важных задач при проектировании, а именно:

- определять необходимое и достаточное число слоев механизма;
- находить минимальные расстояния между продольными осями звеньев (слоями), что позволит уменьшить моменты сил, приводящих к изгибу звеньев;
- находить рациональные варианты конструктивных исполнений механизма.

Таким образом, исследуя проблему слойности на этапе проектирования новых самоустанавливающихся планетарных механизмов, можно делать выводы об их полной работоспособности и решать задачу оптимизации габаритных размеров.

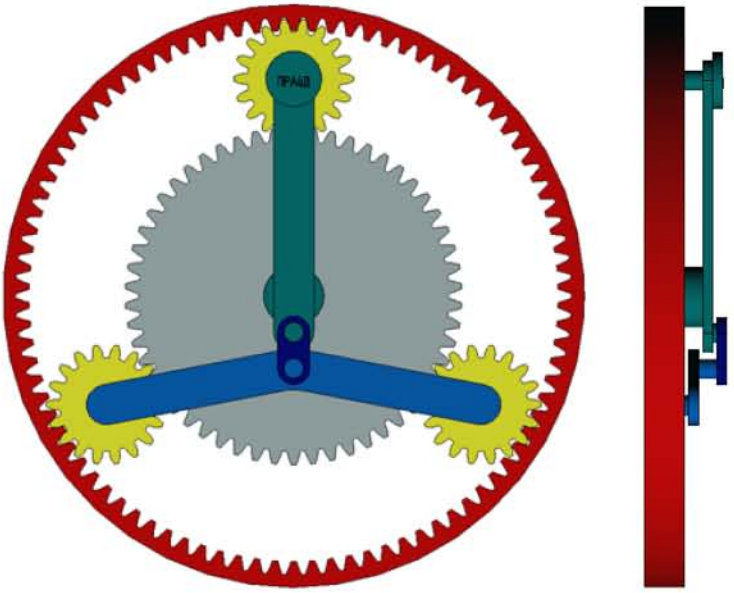

Рис. 5.Трехмерная модель самоустанавливающегося планетарного механизма

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дворников, Л.Т.* Исходные основания к изучению проворачиваемости и слойности плоских рычажных механизмов // Машиностроение. – 2006. – №12. – С. 3-16.

2. *Гудимова, Л.Н.* Проблема слойности плоских шарнирных рычажных механизмов / Л.Н. Гудимо-

ва, Л.Т. Дворников, Н.С. Большаков // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 2. – С. 35-39.

3. *Дворников, Л.Т.* Проблема избыточных связей в планетарных зубчатых механизмах и ее разрешение / Л.Т. Дворников, В.В. // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 2. – С. 13-15.

4. *Дворников, Л.Т.* К задаче о самоустанавливаемости планетарных многосателлитных механизмов / Л.Т. Дворников, Я.А. Андреева // Успехи современного естествознания. – 2011. – №7. – С. 69.

5. *Андреева, Я.А.* Проблемы совершенствования трехсателлитных планетарных механизмов / Я.А. Андреева, И.А. Жуков // Вестник СибГИУ. – 2012. – №1. – С. 23-26.

6. Патент №2342573, РФ, МПК F16H1/48. Самоустанавливающийся планетарный механизм / Сибирский государственный индустриальный университет; Л.Т. Дворников, В.В. Дмитриев, В.С. Бондаренко. – Опубл. в Б.И., 2008. – №36.

7. Патент №2419006, РФ, МПК F16H1/48. Самоустанавливающийся планетарный механизм / Сибирский государственный индустриальный университет; Л.Т. Дворников, В.В. Дмитриев, Я.А. Андреева. – Опубл. в Б.И., 2011. – №14.

8. Заявка на изобретение №2012112774. Самоустанавливающийся четырехсателлитный планетарный редуктор / Сибирский государственный индустриальный университет; Л.Т. Дворников, С.П. Герасимов, Е.В. Дворникова; приоритет от 02.04.2012г.

□ Авторы статьи:

Андреева
Яна Андреевна,
старший лаборант каф. теории механизмов и машин и основ конструирования СибГИУ,
email: naika1611@mail.ru

Жуков
Иван Алексеевич,
канд. техн.наук, доцент, зам. зав. каф. теории механизмов и машин и основ конструирования СибГИУ,
email: zhival@yandex.ru

УДК 621.7

Р.А. Анзыряев, Е.Ю. Татаркин

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ ПУАНСОН-СВЕРЛАМИ С РАЗЛИЧНЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

При пластическом сверлении пуансон-сверлом с конической формой рабочей части [1, 2] преобладающим видом брака является формирование разрывов в зоне выхода инструмента (рис. 1).

Разрывы приводят к разрушению деталей машин в процессе их эксплуатации. Для объяснения причин возникновения разрывов выдвинута гипотеза: разрывы возникают, когда коническая часть инструмента выходит из зоны обработки. В этот момент на стенку втулки действует резко увеличивающаяся радиально направленная сила. Разрывы могут формироваться и при снижении пластичности обрабатываемого металла на этапе формообразования крепежного элемента. Температура на поверхности трения для обеспечения максимального повышения пластичности обрабатываемого металла должна быть выше температуры рекристаллизации, но ниже температуры перегрева и пережога. Это достигается применением в процессе пластического сверления пуансон-сверла с криволинейной формой рабочей части, позволяющей избежать резкого увеличения радиальной силы в зоне выхода рабочей части инструмента, а также поддерживать оптимальную температуру и пластичность обрабатываемого материала. Для экспериментальной проверки гипотезы, которая объясняет формирование разрывов металла в крепежном элементе, был изготовлен инструмент с криволинейной формой рабочей части (рис. 2, а).

Пуансон-сверло изготавливалось из цилинд-

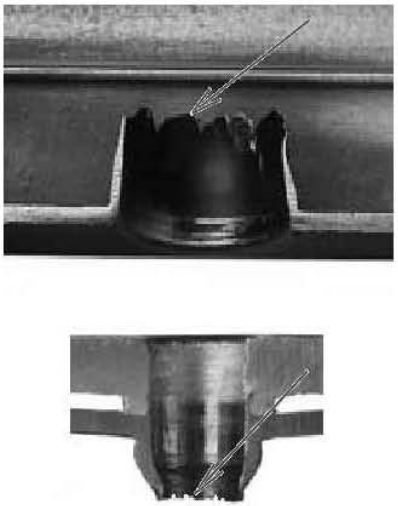

Рис.1. Разрывы в теле узла крепления