

2012 г. Я.А. Андреева, И.А. Жуков

Сибирский государственный индустриальный университет

ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТРЕХСАТЕЛЛИТНЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Социально-экономическое развитие страны неразрывно связано с модернизацией производства. Создание новых машин и механизмов возможно только на основе серьезного фундаментального исследования, позволяющего обеспечить высокую эффективность производства и низкую себестоимость продукции уже на этапе проектирования. В технике машиностроительной, металлургической, горнодобывающей отраслей промышленности очень широко применяются зубчато-рычажные механизмы, в частности, такие механизмы, в которых оси некоторых колес подвижны (планетарные). В связи с этим проблема совершенствования планетарных механизмов представляется весьма актуальной.

Исследования [1 – 5] показывают, что при анализе структуры, кинематики и динамики планетарных передач принимается предположение о том, что используется один сателлит. В реальной практике планетарные механизмы с одним сателлитом, как правило, не создаются. Это объясняется тем, что инерционные силы от сателлита могут быть уравновешены лишь путем добавления дополнительных сателлитов; чаще всего устанавливают два сателлита, тем самым создается трехсателлитный планетарный механизм. Вопрос о том, какое влияние на подвижность планетарных передач оказывают дополнительные сателлиты, пока глубоко не исследован.

В многосателлитных планетарных механизмах при заданной установке сателлитов через одно водило возникает проблема их подвижности [6]. При трех сателлитах, соединенных с одним водилом, механизм оказывается статически неопределимой системой. Для такой системы подвижность W определяется по формуле П.Л. Чебышева

$$W = 3n - 2p_5 - p_4,$$

где n – число подвижных звеньев механизма; p_5 и p_4 – число кинематических пар, входящих

в состав механизма, пятого и четвертого классов соответственно.

При условиях $n = 5$, $p_5 = 5$ и $p_4 = 6$ при расчете получено $W = -1$.

Равенство $W = -1$ свидетельствует о неработоспособности механизма. В теории машин такой результат объясняется наличием избыточных связей. Механизмы, в которых избыточные связи отсутствуют, являются самоустанавливающимися.

Устранения избыточных связей трехсателлитного планетарного механизма можно добиться путем установки двух из трех сателлитов относительно водила через дополнительные звенья (трехпарное звено и шатун), то есть собрав их в четырехзвенную группу звеньев нулевой подвижности (рис. 1, а) [7]. При неподвижном центральном колесе 8 с внутренним зацеплением и подвижном колесе 1 с внешним зацеплением сателлит 2 соединен шарниром с водилом 3. Пассивные сателлиты 4 и 5 соединены шарниром с трехпарным звеном 6, которое связано с водилом 3 во вращательную кинематическую пару через шатун 7. Благодаря такому соединению, пассивные сателлиты 4 и 5 имеют возможность самоустанавливаться относительно ведущего колеса 1 и неподвижного колеса 8.

В исследуемом механизме $n = 7$, $p_5 = 7$, $p_4 = 6$. Механизм состоит из ведущего звена 1 (центрального колеса) и двух групп нулевой подвижности: двухзвенной группы 2 – 3 с двумя парами p_5 и двумя парами p_4 и четырехзвенной группы 4 – 5 – 6 – 7, в которой содержится по четыре пары p_5 и p_4 . При этом четырехзвенная цепь не может быть разложена на более простые группы. При расчете по формуле П.Л. Чебышева получается $W = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 7 - 6 = 1$. Это доказывает работоспособность и самоустанавливаемость этого планетарного механизма в целом.

Основные расчеты планетарных механизмов [1 – 3, 5] включают в себя, в первую очередь, определение кинематических характери-

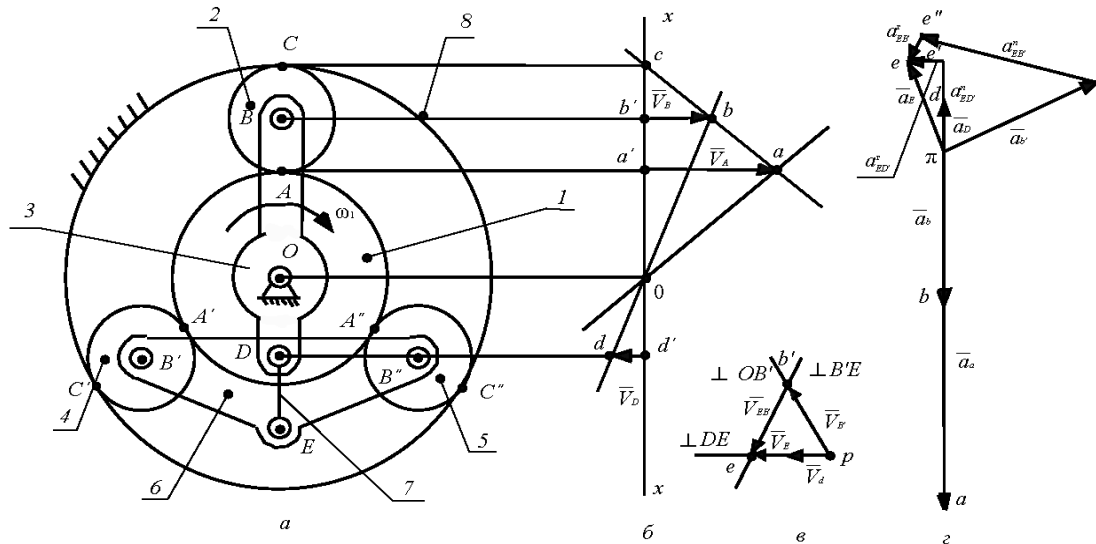


Рис. 1. Самоустанавливающийся трехсателлитный планетарный механизм и его кинематическое решение: 1 – подвижное колесо; 2 – сателлит; 3 – водило; 4 и 5 – пассивный сателлит; 6 – трехпарное звено; 7 – шатун; 8 – неподвижное центральное колесо

стик механизма: передаточного отношения, линейных и угловых скоростей. В основе решения лежат метод обращения скоростей Виллиса и метод картин скоростей. Однако в структуре трехсателлитного планетарного механизма (рис. 1, а) помимо традиционных зубчатых колес и водила содержатся рычажные звенья: шатун 7 и трехпарное звено 6. Эти звенья вместе с сателлитами 4 и 5 образуют группу нулевой подвижности. В связи с этим для решения задачи кинематики необходимо воспользоваться методами картин скоростей и графоаналитическим.

Скорости точек A , B , C и D определяются по методу картин скоростей (рис. 1, б), а скорость точки E по методу планов (рис. 1, в) при решении системы уравнений

$$\begin{cases} \vec{V}_E = \vec{V}_D + \vec{V}_{ED}, \vec{V}_{ED} \perp DE; \\ \vec{V}_E = \vec{V}_{B'} + \vec{V}_{EB'}, \vec{V}_{EB'} \perp B'E, \end{cases}$$

где \vec{V}_D – скорость точки D водила; \vec{V}_{ED} – относительная скорость точки E шатуна 7; $\vec{V}_{B'}$ – скорость сателлита 4, направленная перпендикулярно линии OB' , $\vec{V}_{B'} = \vec{V}_B$; $\vec{V}_{EB'}$ – относительная скорость точки E трехпарного звена 6.

На том основании, что угловые скорости центрального колеса ω_1 , сателлитов $\omega_2 = \omega_4 = \omega_5$ и водила ω_3 – это величины постоянные, ускорения этих звеньев будут определяться через нормальные (центробежные) составляющие: $a_A = \omega_1^2 l_{OA}$; $a_B = \omega_3^2 l_{OB}$; $a_D = \omega_3^2 l_{OD}$. Ускорение точки E определяется из системы уравнений путем построения плана ускорений (рис. 1, з):

$$\begin{cases} \vec{a}_E = \vec{a}_D + \vec{a}_{ED}^n + \vec{a}_{ED}^\tau; \\ \vec{a}_E = \vec{a}_{B'} + \vec{a}_{EB'}^n + \vec{a}_{EB'}^\tau, \end{cases}$$

где $\vec{a}_{ED}^n, \vec{a}_{EB'}^n$ и $\vec{a}_{ED}^\tau, \vec{a}_{EB'}^\tau$ – нормальные и тангенциальные составляющие относительных ускорений.

Анализ скоростей (рис. 1, а, б) и ускорений (рис. 1, з) позволяет сделать вывод о том, что решение проблемы самоустанавливаемости трехсателлитного планетарного механизма путем установки двух из трех сателлитов через дополнительные звенья (трехпарное звено и шатун), то есть в виде четырехзвенной группы Ассура, не нарушает скоростной режим работы механизма. При построении плана ускорений в определенном масштабе при конкретных размерах механизма оказывается очевидным, что длины отрезков ee' , ee'' , соответствующих тангенциальным ускорениям \vec{a}_{ED}^τ и $\vec{a}_{EB'}^\tau$, пренебрежительно малы, следовательно, угловые ускорения рычажных звеньев 6 и 7 $\varepsilon_6 = a_{EB'}^\tau / l_{EB'} \approx 0$, $\varepsilon_7 = a_{ED}^\tau / l_{ED} \approx 0$, и их можно принять равными нулю.

Для исследования работоспособности, кинематических и динамических характеристик посредством САПР T-Flex создана трехмерная твердотельная модель трехсателлитного планетарного механизма. Детали механизма созданы в отдельных документах, которые впоследствии в качестве фрагментов скомпонованы в сборочную модель и соединены между собой посредством сопряжений – взаимного расположения осей и контактирующих поверхностей. Расчет модели механизма произ-

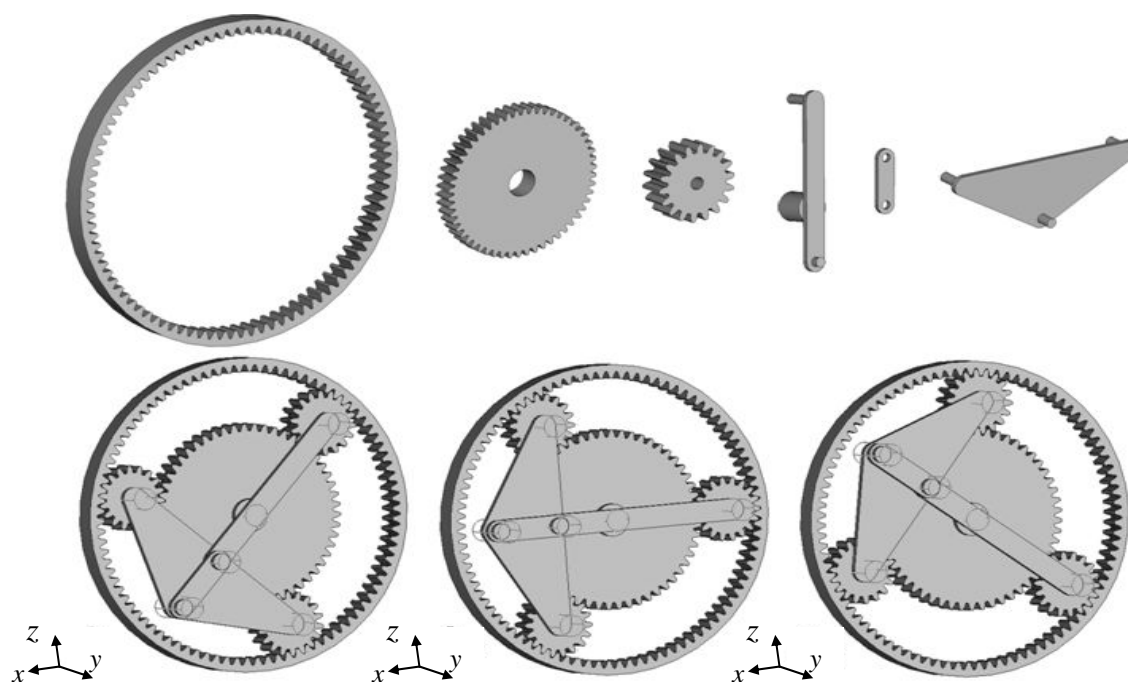


Рис. 2. Трехмерная модель трехсателлитного планетарного механизма с четырехзвенной группой нулевой подвижности в движении

водится на основе точной геометрии тел, что обеспечивает реалистичное моделирование контакта между телами. На созданную компьютерную модель могут быть установлены виртуальные датчики, предназначенные для считывания и отображения результатов. Наличие компьютерной модели механизма позволяет визуально оценить его работу и провести вычислительный эксперимент с целью получения кинематических и динамических характеристик объекта. На рис. 2 показаны фрагменты анимационного ролика, отражающие работу механизма.

Анализ положений механизма в процессе его работы показал, что угол между осью OB водила 3 и осью DE шатуна 7 варьируется в диапазоне $0^{\circ}0'4'' \div 0^{\circ}1'2''$, то есть водило 3 и шатун 7 на протяжении всего цикла работы механизма фактически выстраиваются в одну линию. Однако этот факт свидетельствует о смещении геометрических осей сателлитов 4 и 5, что позволяет этим сателлитам самоустанавливаться во время движения.

Анализ структуры, кинематики и движения компьютерной модели трехсателлитного планетарного механизма позволил сформулировать следующие задачи:

- создание единой теории структурного синтеза планетарных механизмов без избыточных связей;
- создание методик кинематического и кинетостатического исследования планетарных механизмов, содержащих в своей структуре

сложные группы звеньев нулевой подвижности;

- решение вопроса сложности планетарных самоустанавливающихся механизмов;
- уравнивание сил инерции, действующих на фундамент механизма;
- статическое и динамическое уравнивание сил инерции, возникающих при вращении звеньев.

На рис. 3 показано одно из возможных конструктивных решений самоустанавливающегося трехсателлитного уравновешенного планетарного механизма [7].

Выводы. Обоснована проблема создания планетарных механизмов без избыточных связей. Сформулированы задачи, исследование которых позволит решить проблемы совершенствования планетарных трехсателлитных механизмов.

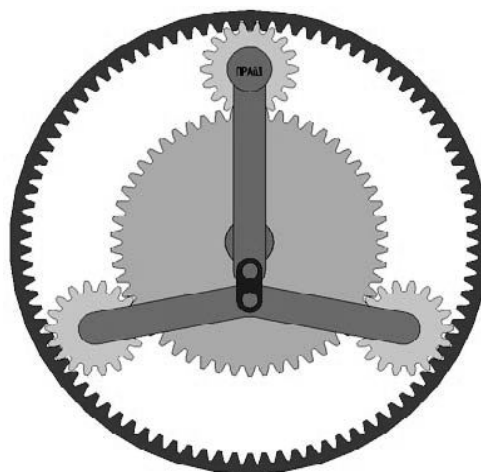


Рис. 3. Трехсателлитный планетарный механизм

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руденко Н.Ф. Планетарные передачи. Теория, применение, расчет и проектирование. – М.: Машгиз, 1947. – 756 с.
2. Артоблевский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1975. – 640 с.
3. Теория механизмов и механика машин: Учеб. для втузов / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др. – М.: Высш. школа, 1998. – 496 с.
4. Шеломов В.Б. Структурный синтез кинематических схем планетарных коробок передач // Теория механизмов и машин. 2010. № 15. Т. 8. С. 52 – 61.
5. Алюшин Ю.А., Вержанский П.М. Кинематика планетарных передач // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 12. С. 463 – 473.
6. Дворников Л.Т., Дмитриев В.В. Проблема избыточных связей в планетарных зубчатых механизмах и ее разрешение // Известия Томск. политех. ун-та. 2010. Т. 316. № 2. С. 13 – 15.
7. Пат. 2419006 РФ. Самоустанавливающийся планетарный механизм / Дворников Л.Т., Дмитриев В.В., Андреева Я.А. Заявл. 04.03.2010. Опубл. 20.05.2011. // Изобретения. Полезные модели. 2011. № 14.

© 2012 г. Я.А. Андреева, И.А. Жуков
Поступила 11 мая 2012 г.

УДК 656.222

2012 г. И.В. Воскресенский, Т.П. Воскресенская
Сибирский государственный индустриальный университет

НЕОБХОДИМОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА СКОРОСТНОЙ ТРАНСАЗИАТСКОЙ МАГИСТРАЛИ

Развитие, совершенствование и реструктуризация транспортной сети страны должны основываться на тех ее частях, которые не потеряли своего народнохозяйственного значения (магистральная железнодорожная сеть), и создании новых элементов, необходимость в которых обусловлена задачами интенсификации товарного обмена не только внутри страны, но и в мировых хозяйственных связях.

Геологическое положение России и ее топография позволяют использовать территорию страны в качестве главного канала транзита грузов между странами Западной Европы и Восточной Азии. Быстрое развитие промышленности стран Юго-Восточной Азии вызвало значительный рост объемов перевозок между этими районами и передовыми в техническом отношении странами Западной Европы. Увеличение грузопотоков через Россию связано с определенными трудностями. Требуется установление особого подхода к оценке мер, связанных с увеличенным объемом перевозок между государствами Западной Европы и Восточной Азии.

В период действия «затратного» принципа в экономике страны и жесткой (плановой)

привязки крупных товаропроизводителей к базам снабжения и распределения грузовые потоки концентрировались на сравнительно ограниченном количестве направлений. Именно эти коридоры технически оснащались, вся остальная транспортная сеть, включая автодорожную, финансировалась по «остаточному» принципу. Со временем пропускная способность магистральных линий приближалась к своему пределу. К этому времени разными способами изыскиваются пути повышения пропускной способности. Появились исследования, доказывающие эффективность использования сверхтяжелых, сверхдлинных поездов, изыскивались возможности повышения весовой нормы поездов по маршрутам следования грузов, предприятиям предписывалось увеличивать уровень маршрутизации для того, чтобы снизить объем работы по переработке вагонопотоков на магистральных станциях. Все эти резервы повышения пропускной способности железных дорог быстро исчерпывались, не приводя к существенному изменению ситуации на них.