

УДК 629.114.2

## РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ТРАНСМИССИИ ГУСЕНИЧНЫХ ТРАКТОРОВ

Пивоваров А.О., Шевчук В.П.

ФГБОУ ВПО «Волгоградский Государственный Технический Университет»,  
Волгоград, e-mail: alexbeer8891@mail.ru

Для решения проблем связанных с статически неопределимыми системами были разработаны новые конструкции планетарных механизмов с уменьшенным числом избыточных связей, которые не требуют повышенной точности изготовления и сборки и позволяют равномерно распределять нагрузку, как между сателлитами, так и по длине из зубьев. Одним из наиболее эффективным способом увеличения равномерности распределения нагрузки является применение самоустанавливающихся механизмов. В работе было рассмотрено три новых конструкции планетарных механизмов, эти конструкции рассчитаны на наличие статической неопределимости и даны графики равномерности распределения нагрузки.

**Ключевые слова:** планетарный механизм, избыточные связи, гусеничный трактор, механизм поворота, трансмиссия, сателлит, самоустанавливающийся механизм

## DEVELOPMENT OF RATIONAL CONSTRUCTIONS OF PLANETARY MECHANISM USED IN TRANSMISSION OF CRAWLER TRACTORS

Pivovarov A.O., Shevchuk V.P.

Volgograd State Technical University, Volgograd, e-mail: alexbeer8891@mail.ru

To solve the problems associated with the statically indeterminate systems have developed new designs of planetary mechanisms with a reduced number of redundant links, which do not require extended precision manufacturing and assembly, and to evenly distribute the load between both satellites, and length of the teeth. One of the most effective way to increase the uniformity of distribution of the load is the use of self-aligning mechanisms. The paper was reviewed by three new designs of planetary mechanisms, these structures were calculated for the presence of redundancy and graphs are given the uniform distribution of the load.

**Keywords:** planetary mechanism, redundant links, crawler tractor, mechanism for turning, transmission, satellite, self-aligning mechanism

Основной проблемой современного тракторостроения является проблема повышения нагрузочной способности трансмиссии тракторов. Решение данной проблемы в первую очередь заключается в оптимизации работы лимитирующих узлов, к которым относятся планетарные механизмы, применяемые на отечественных тракторах (ДТ, ВТ, ЧЕТРА) в механизмах поворота, коробках и в конечных передачах [4].

К достоинствам планетарных механизмов можно отнести большие передаточные отношения, компактность, высокий коэффициент использования нагрузки на единицу массы, благодаря многопоточности и применению внутреннего зацепления [5].

В то же время в классическом исполнении планетарные механизмы относятся к статически неопределимым системам, поэтому реализация их преимуществ возможна только при условии компенсации погрешностей изготовления и сборки [5].

Проведенные ранее исследования показали, что основными причинами выхода из строя планетарных механизмов являются неравномерное распределение нагрузки между сателлитами и по длине зубчатых зацеплений шестерен. Чувствительность к погрешностям у планетарных механизмов обусловлена наличием избыточных связей

или статической неопределимостью этих механизмов.

Избыточными для механизма являются такие связи, устранение которых не приводит к изменению числа степеней свободы механизма. Механизмы с уменьшенным числом избыточных связей позволяют расширить допуски на изготовление, тем самым снизить трудоемкость и повысить долговечность узла [4].

### Цель исследования

Обоснование способов, повышающих равномерность распределения нагрузки в зубчатых зацеплениях и разработка новых конструкций планетарных механизмов с уменьшенным числом избыточных связей, применяемых в трансмиссии гусеничных машин.

### Материалы и методы исследования

Проверка планетарных механизмов на наличие в них избыточных связей проводилась путем подсчета их по структурной формуле Малышева А.П.:

$$q = w - 6n + \sum_{i=1}^{i=5} ip_i,$$

или в развернутом виде:

$$q = w - 6n + 5p_V + 4p_{IV} + 3p_{III} + 2p_{II} + p_I,$$

где  $q$  – число избыточных связей;  $n$  – число подвижных звеньев;  $w$  – подвижность механизма;  $p_V$  – число кинематических пар 5-го класса,  $p_{IV}$  – число кинематических пар 4-го класса,  $p_{III}$  – число кинематических пар 3-го класса,  $p_{II}$  – число кинематических пар 2-го класса,  $p_I$  – число кинематических пар 1-го класса.

### Результаты исследования и их обсуждение

Неравномерность распределения нагрузки зубчатых зацеплений, определяется погрешностью изготовления и сборки механизмов, неодинаковым износом зацеплений и приводит к снижению долговечности работы планетарных передачи, т.к. зубчатые зацепления сателлитов работают с увеличенной нагрузкой. Примером работы планетарного механизма с повышенными нагрузками является планетарный механизм поворота тракторов ДТ-75 и ВТ-100, достигаемый ресурс этого механизма не превышает 10 тыс. моточасов, при необходимом ресурсе в 15 тыс. моточасов.

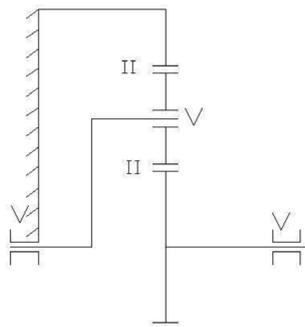


Рис. 1. Структурная схема ПМП ДТ-75 и ВТ-100

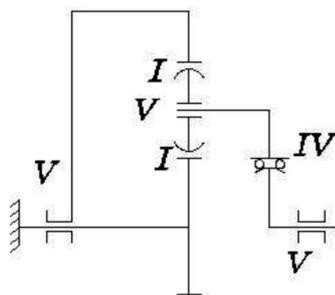


Рис. 2. Структурная схема планетарной передачи с «Бочкообразным зубом»

За счет применения составного водила и бочкообразных зубьев приобретает угловая подвижность, планетарный механизм самоустанавливается между центральными колесами, происходит выравнивание нагрузки, как между сателлитами, так и по длине их зубьев.

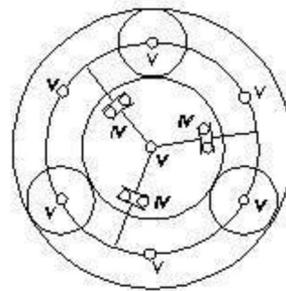
Недостатком данной конструкции, является сложная и дорогая технология изго-

В однорядном планетарном механизме без плавающего звена с тремя сателлитами и подшипниками пятого класса (рис. 1) имеется восемь избыточных связей при 3-х сателлитах. Две вызывают неравномерное распределение окружного усилия между сателлитами, шесть других создают неравномерную нагрузку по длине зуба в шести зацеплениях. Большое число избыточных связей требует очень точного исполнения таких механизмов, иначе они очень плохо работают и ресурс узла не достигает требуемого значения.

Для решения проблем связанных с статически неопределимыми системами, на кафедре «автомобиле- и тракторостроение» Волгоградского Государственного Технического Университета были разработаны новые конструкции планетарных механизмов [1, 2, 3] с уменьшенным числом избыточных связей, которые не требуют повышенной точности изготовления и сборки и позволяют равномерно распределять нагрузку, как между сателлитами, так и по длине зубчатых колес.

Одним из наиболее эффективных способов увеличения равномерности распределения нагрузки является применение так называемых рациональных или самоустанавливающихся механизмов. Самоустанавливающиеся механизмы содержат звенья, обладающие дополнительными подвижностями, что позволяет им в процессе работы занимать положение, соответствующее отсутствию статической неопределенности.

Для устранения статической неопределенности водило выполняется составным, а зубья сателлитов и ступицы с бочкообразным продольным профилем (рис. 2).



товления бочкообразного продольного профиля сателлитов и ступицы, при помощи шевенгования дисковыми шеверами.

Еще одним из новых конструкций и способом увеличения равномерности распределения нагрузки является составное водило, звенья которых соединены между собой карданным шарниром (рис. 3).

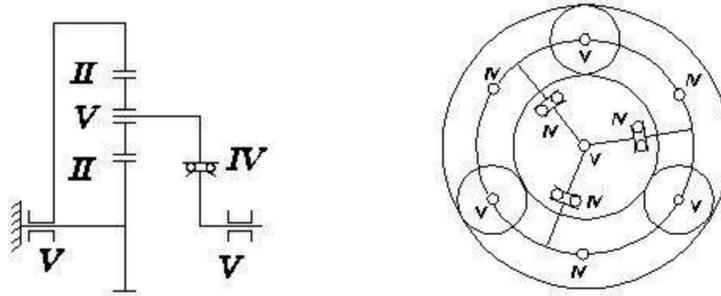


Рис. 3. Структурная схема планетарной передачи с «Карданным шарниром»

Карданные шарниры позволяют, за счет приобретения относительных поворотов секторов составного водила, самоустанавливаться между центральными колёсами, выравнивая нагрузку между сателлитами и по длине их зубьев.

Недостатком данной планетарной передачи является то, что сектора сателлитного блока соединены карданными шарнирами, образующими в перпендикулярной осям

секторов жесткий треугольник, что не позволяет в достаточной степени выравнивать нагрузку между сателлитами и по длине зуба сателлитов.

Для устранения предыдущих недостатков и для максимального выравнивания нагрузки в зубчатый зацеплений, был разработан планетарный механизм с составным водилом, звенья которого соединены между собой тросами (рис. 4).

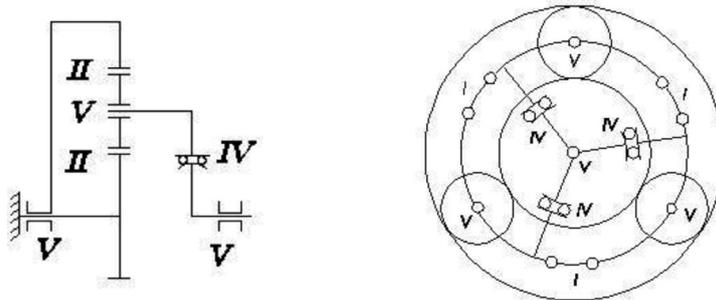


Рис. 4. Структурная схема планетарной передачи с «Тросовым соединением»

Тросы связывают между собой сателлиты и обеспечивают только одно вращательное движение вокруг оси, тем самым устраняя две избыточные связи, что позволит увеличить долговечность механизма поворота тракторов, за счет равномерного распределения нагрузки между сателлитами и по длине их зубьев. Снижение неравномерности распределения нагрузки между сателлитами и, частично, по длине зубьев сателлитов про-

исходит за счет радиального смещения и поворота сателлитного блока под воздействием сил, возникающих в зацеплениях всех сателлитов с центральными колёсами.

Для получения достоверности представленных новых рациональных конструкций планетарных механизмов, мы произвели расчет на статическую определенность по формуле Малышева, результаты расчета сведены в таблицу.

Расчет числа избыточных связей

Схема механизма по рисунку	n	Число кинематических пар					W	q
		$P_V$	$P_{IV}$	$P_{III}$	$P_{II}$	$P_I$		
1	5	5	-	-	6	-	1	8
2	11	8	3	-	-	6	8	0
3	11	5	6	-	6	-	8	3
4	11	5	3	-	6	3	14	0

Из полученного расчета можно сделать вывод о том, что конструкции планетарных механизмов с «Бочкообразным зубом» и «Тросовое соединение» статически

определимы, а механизм с «Карданным шарниром» имеет уменьшенное число избыточных связей по сравнению с базовой конструкцией.

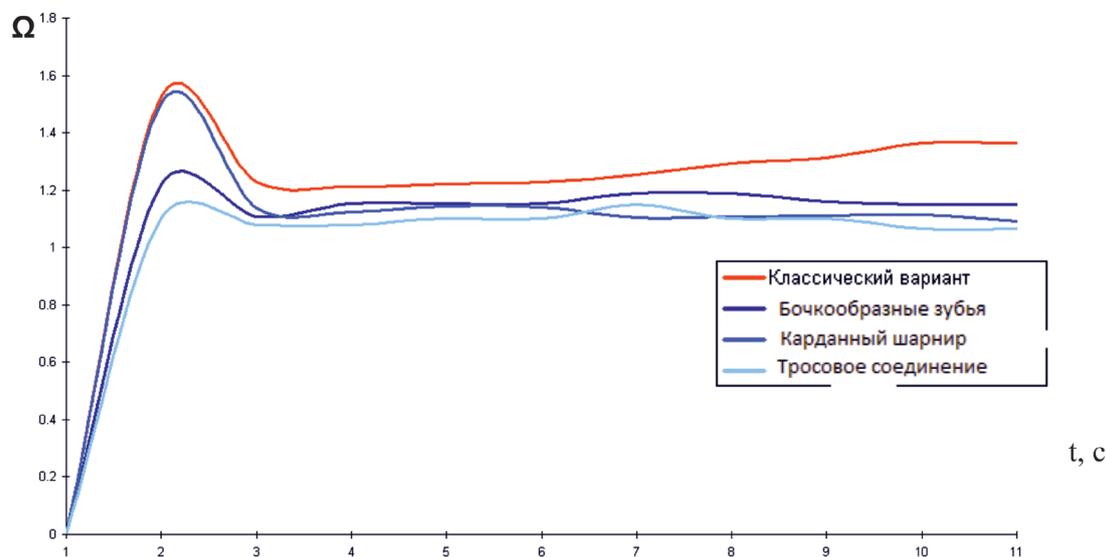


Рис. 5. Распределение нагрузки между сателлитами

Для проверки адекватности полученных результатов на рис. 5 представлены графики неравномерности распределения нагрузки между сателлитами различных конструкций планетарных механизмов поворота, где можно наблюдать ощутимую разницу в значениях коэффициента неравномерности между классическим и исследуемыми механизмами поворота. Наиболее равномерное распределение нагрузки в зубчатых зацеплениях наблюдается в «Тросовом соединении».

#### Заключение

На основе полученных результатов можно сказать об адекватности физической и математической модели классического варианта, исходя из идентичности полученных результатов полученных экспериментальным путем. Результаты расчета предложенных вариантов показали, что предложенные кинематические схемы планетарных механизмов за счет исключения избыточных связей характеризуются гораздо меньшей интенсивностью нагрузок, вызванных погрешностями изготовления редуктора. Следовательно, можно заключить, что разработка и внедрение таких механизмов позволит существенно увеличить долговечность существующих трансмиссионных агрегатов, а также разработать новые более компактные трансмиссии.

#### Список литературы

1. Шевчук В.П., Пивоваров А.О., Ляшенко М.В., Шеховцов В.В., Котовсков А.В. Планетарная передача // Патент на полезную модель RUS 103591. – 2011.
2. Шевчук В.П., Пивоваров А.О., Петренко А.В., Шеховцов В.В., Ляшенко М.В., Калмыков А.В. Планетарная передача // Патент на полезную модель RUS 108526. – 2011.
3. Шевчук В.П., Пивоваров А.О., Редькин И.В., Шеховцов В.В., Ляшенко М.В., Морозов А.В. Планетарная передача // Патент на полезную модель RUS 132514. – 2013.
4. Пивоваров А.О. Разработка методики компьютерного анализа и устранения избыточных связей в планетарных передачах гусеничных тракторов / А.О. Пивоваров // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6 – С. 137.
5. Пивоваров А.О. Разработка конструкции планетарной передачи для механизма поворота сельскохозяйственного трактора Четра-6 / А.О. Пивоваров, В.П. Шевчук // Известия ВолгГТУ. Серия «Наземные транспортные системы». Вып. 4: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – № 12. – С. 38–41.
6. Выделение и подсчет избыточных связей при построении моделей в Autodesk Inventor / А.Б. Рогудеев, В.В. Сомов, В.М. Константинов, А.О. Пивоваров, А.В. Малолетов // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». Вып. 19: межвуз. сб. науч. тр. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2013. – № 24 (127). – С. 74–79.
7. Пивоваров А.О. Разработка конструкции планетарной передачи без избыточных связей / А.О. Пивоваров // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6 (ч. 3). – С. 556–560.
8. Редькин И.В. Классификация оптимальных по избыточным связям планетарных передач типа 2КН / И.В. Редькин, В.П. Шевчук, А.О. Пивоваров // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 79–80.