

Учебное пособие с грифом УМО. [текст]/ Щербаков В.И., Чабунин И.С. Изд. 2-е испр. и доп. – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 336с.

9. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. Учебник с грифом Минобрнауки [текст] / И.М. Шарипов. – М.: Машиностроение, 2004. – 592с.

10. Агапов В.П. Строительная механика автомобиля и трактора. Учебник с грифом Минобрнауки [текст]/ В.П. Агапов, С.С. Гаврюшин, А.Л. Карунин, Н.А. Крамской. – М.: МГТУ «МАМИ», 2002. – 400с.

Метод построения компактных кинематических схем планетарных коробок передач

д.т.н. проф. Шарипов В.М., к.т.н. проф. Маринкин А.П.

Университет машиностроения

8(495)223-05-23 (1111), trak@mami.ru

Аннотация. Рассмотрен метод построения компактных кинематических схем планетарных коробок передач на примере планетарной коробки передач с двумя степенями свободы.

Ключевые слова: планетарная коробка передач, трехзвенный дифференциальный механизм; уравнение кинематики.

В настоящее время все более широкое применение в мощных промышленных тракторах, автомобилях и особенно в быстроходных гусеничных машинах получают планетарные коробки передач (ПКП), которые позволяют увеличить среднюю скорость движения машины ввиду сокращения времени на переключение передач, имеют более высокий КПД и облегчают процесс управления машиной при существенном снижении веса и габаритов конструкции [1 - 6].

После выполнения тягового расчета машины и разбивки передаточных чисел в ПКП перед конструктором стоит проблема выбора наиболее рациональной схемы ее конструкции, реализующей заданные передаточные числа. Выбор схемы ПКП является наиболее трудной и ответственной задачей для конструктора. Проблема состоит в том, что для заданных передаточных чисел можно построить большое многообразие схем ПКП. При этом эти схемы будут существенно отличаться между собой по сложности, величине КПД и целому ряду показателей, влияющих на технический уровень вновь разрабатываемой конструкции. Не зная принципов проектирования ПКП, практически невозможно построить все возможные схемы, реализующие заданные передаточные числа, и тем более выбрать из всего многообразия существующих схем наиболее рациональную.

Методика построения наиболее рациональных кинематических схем ПКП для заданных значений ее передаточных чисел достаточно хорошо отработана [1, 3, 4] и широко используется в практике проектирования ПКП как с двумя, так и с тремя степенями свободы.

При синтезе схем планетарных ПКП кроме однозвенных трехзвенных дифференциальных механизмов (ТДМ) смешанного зацепления шестерен наиболее часто используют ТДМ внешнего зацепления с двумя солнечными шестернями или смешанного зацепления – с двумя эпициклами [1 - 4]. Эти механизмы могут иметь малые значения характеристик k планетарного ряда ($1 \leq k < 1,5$) и их обычно komponуют с однозвенными ТДМ смешанного зацепления шестерен, образуя компактные структуры ПКП с присоединяемыми рядами.

Получаемые компактные структуры упрощают конструкцию ПКП, так как в двух рядом расположенных независимых ТДМ насчитывают лишь четыре центральных звена вместо шести: две солнечные шестерни, эпицикл и общее водило или два эпицикла, солнечную шестерню и общее водило [2].

Однако в литературе очень мало внимания уделено вопросу проектирования ПКП с присоединяемыми планетарными рядами.

Недостатком присоединяемых рядов является более низкий КПД в относительном дви-

жении η_o (при остановленном водиле), что снижает общий КПД ПКП. Так, в присоединяемом ряду внешнего зацепления с двумя солнечными шестернями $\eta_o = 0,91$, в присоединяемом ряду смешанного зацепления с двумя эпициклическими шестернями $\eta_o = 0,95$, а в ТДМ смешанного зацепления $\eta_o = 0,96$ [3, 4].

Однако присоединяемые ряды в настоящее время применяют в схемах ПКП, где они работают, как правило, на не основных мало используемых по времени передачах.

Условием присоединения (создания компактных структур ПКП) является совпадение индексов двух центральных звеньев, включая водило у основного и присоединяемого планетарных рядов.

Если у основного планетарного ряда совпадающий индекс, кроме водила, имеет солнечная шестерня, то присоединяемый ряд будет внешнего зацепления с двумя последовательно связанными сателлитами.

Если в основном ряду совпадающий индекс, кроме водила, имеет эпицикл, то присоединяемый ряд будет смешанного зацепления с двумя последовательно связанными сателлитами.

В данной работе рассмотрен метод построения компактных кинематических схем ПКП с присоединяемыми планетарными рядами на примере построения кинематической схемы ПКП с двумя степенями свободы, реализующей следующие передаточные числа: $u_1 = 3,2$; $u_2 = 1,74$; $u_3 = 1,0$; $u_{-1} = -2,6$ и $u_{-2} = -0,86$.

Анализ схем ТДМ, которые могут быть использованы для построения схемы ПКП с заданными передаточными числами, представлен в таблице 1 [4], где $n_{вц}$ и $n_{ам}$ – частота вращения соответственно ведущего и ведомого вала ПКП; n_1 , n_2 , n_{-1} и n_{-2} – частота вращения тормозного звена ПКП соответственно первой и второй передачи переднего хода и первой и второй передачи заднего хода.

Отбраковку ТДМ в таблице 1 производилась по величине характеристики k планетарного ряда и частоте вращения сателлитов n_{Bo} , предполагая, что частота вращения ведущего вала ПКП $n_{вц} = 2000 \text{ мин}^{-1}$.

Для схем ТДМ со смешанным зацеплением шестерен характеристика планетарного ряда может изменяться в пределах $1,5 \leq k \leq 4,0$, для ТДМ с двухвенцовыми (блочными) сателлитами $4,5 < k \leq 10,0$, а для присоединяемых ТДМ $1,0 \leq k < 1,5$ [1, 3, 4]. Отбраковка ТДМ по величине характеристики k планетарного ряда проводилась при условии, что схема ПКП будет составлена только из ТДМ со смешанным зацеплением шестерен, для которых $1,5 \leq k \leq 4,0$.

Применяемые для сателлитов серийные подшипники качения допускают под нагрузкой относительную частоту вращения колец n_{Bo} до 6000 мин^{-1} , а без нагрузки – до 10000 мин^{-1} [3, 4]. Поэтому при $n_{Bo} < 6000 \text{ мин}^{-1}$ уравнение кинематики ТДМ считается годным для дальнейшего исследования, при $6000 \leq n_{Bo} \leq 10000 \text{ мин}^{-1}$ – условно годным, а при $n_{Bo} > 10000 \text{ мин}^{-1}$ – негодным.

Таким образом, годными являются уравнения 3, 10 и 19 (таблица 1).

Искомая схема ПКП с двумя степенями свободы должна включать четыре ТДМ, так как она должна обеспечивать получение четырех передач с передаточными числами $u_p \neq 1$. Следовательно, из трех ТДМ, описываемых годными уравнениями 3, 10 и 19, построить схему ПКП нельзя. Поэтому в группы механизмов, входящих в схему ПКП, необходимо включить и условно годные ТДМ, описываемые уравнениями 1, 7, 11, 12 и 15.

Рассмотрим пример построения схемы ПКП, используя из таблицы 1 уравнения 10, 7, 1 и 2 кинематики ТДМ. Здесь мы дополнительно к годному уравнению 10 и условно годным 7 и 1 добавили уравнение 2, которое ранее нами было отбраковано по величине K характери-

стики планетарного ряда. Для уравнения 2 характеристика планетарного ряда $\kappa = 1,35$. Ее величина может быть реализована в схеме ПКП путем использования присоединяемого ряда внешнего или смешанного зацепления с двумя последовательно связанными сателлитами. Предположим, что данное уравнение является годным и по величине n_{Bo} относительной частоты вращения колец подшипника. Структурная схема ПКП для группы уравнений 10. 7. 1. 2 представлена на рисунке 1а.

Таблица 1

Анализ схем ТДМ на возможность дальнейшего использования

№	Уравнение кинематики ТДМ	κ	$\left \frac{n_{Bo}}{n_{вц}} \right $	Структурная схема	Примечание
1	2	3	4	5	6
1	$n_{вц} + 2,2n_1 - 3,2n_{вм} = 0$	2,2	3,6		Условно годное
2	$n_2 + 1,35n_{вц} - 2,35n_{вм} = 0$	1,35			Исключить по κ
3	$n_{вц} + 2,6n_{вм} - 3,6n_{-1} = 0$	2,6	1,95		Годное
4	$n_{вм} + 1,16n_{вц} - 2,16n_{-2} = 0$	1,16			Исключить по κ
5	$n_{вц} + 1,62n_2 - 2,62n_1 = 0$	1,62	10,1		Исключить по n_{Bo}
6	$n_1 + 1,01n_{вц} - 2,01n_{-1} = 0$	1,01			Исключить по κ
7	$n_1 + 2,14n_{вц} - 3,14n_{-2} = 0$	2,14	3,76		Условно годное
8	$n_2 + 2,25n_{вц} - 3,25n_{-1} = 0$	2,25	5,5		Исключить по n_{Bo}
9	$n_2 + 4,07n_{вц} - 5,07n_{-2} = 0$	4,07			Исключить по κ
10	$n_{вц} + 1,78n_{-1} - 2,78n_{-2} = 0$	1,78	2,56		Годное
11	$n_2 + 1,98n_{вм} - 2,98n_1 = 0$	1,98	3,54		Условно годное
12	$n_1 + 1,64n_{-1} - 2,64n_{вм} = 0$	1,64	3,09		Условно годное
13	$n_{-2} + 1,18n_1 - 2,18n_{вм} = 0$	1,18			Исключить по κ
14	$n_2 + 4,85n_{-1} - 5,85n_{вм} = 0$	4,85			Исключить по κ
15	$n_2 + 2,5n_{-2} - 3,5n_{вм} = 0$	2,5	3,67		Условно годное
16	$n_{вм} + 1,07n_{-2} - 2,07n_{-1} = 0$	1,07			Исключить по κ
17	$n_2 + 1,23n_{-1} - 2,23n_1 = 0$	1,23			Исключить по κ
18	$n_{-2} + 1,11n_2 - 2,11n_1 = 0$	1,11			Исключить по κ
19	$n_1 + 2,82n_{-2} - 3,82n_{-1} = 0$	2,82	1,74		Годное
20	$n_2 + 6,23n_{-2} - 7,23n_{-1} = 0$	6,23			Исключить по κ

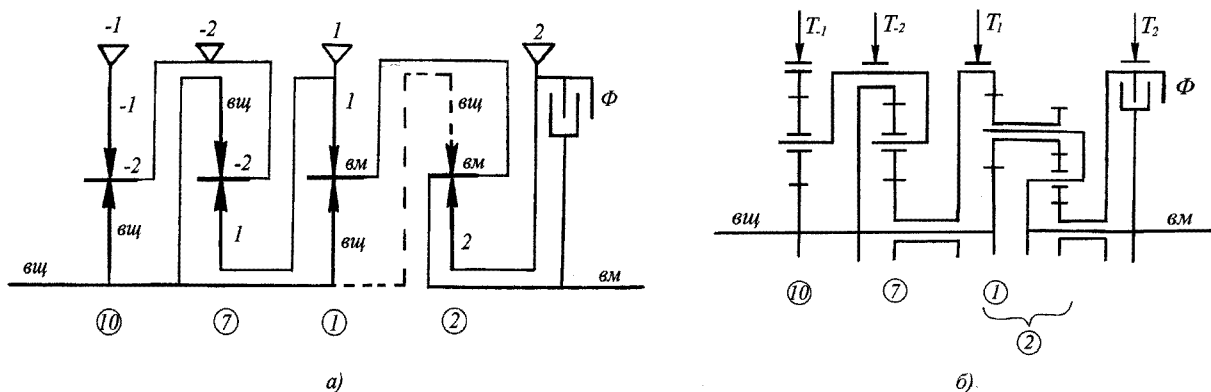


Рисунок 1 – Схема ПКП с присоединенным рядом внешнего зацепления:
а – структурная; б – кинематическая

На схеме у основного ряда 1 и присоединяемого 2 совпадают индексы у водила, а также солнечной шестерни основного ряда и индекс верхней стрелки для присоединяемого ряда.

Тогда, согласно правилу [4], если у основного планетарного ряда совпадающий индекс, кроме водила, имеет солнечная шестерня, то присоединяемый ряд будет внешнего зацепления с двумя последовательно связанными сателлитами.

На структурной схеме ПКП большая солнечная шестерня присоединяемого ряда внешнего зацепления обозначена штриховой стрелкой, так как данная солнечная шестерня является общей для основного ряда 1 и присоединяемого 2, а связь между солнечными шестернями этих рядов обозначена штриховой линией. Это обозначение введено для удобства построения кинематической схемы ПКП, которая представлена на рисунке 1б. Здесь видно, что солнечная шестерня основного ряда 1 одновременно является большой солнечной шестерней присоединяемого ряда 2 внешнего зацепления.

В результате мы получили кинематическую схему ПКП с присоединенным рядом внешнего зацепления, обеспечивающую получение трех передач переднего хода и двух заднего. Здесь включение передачи с передаточным числом $u_p \neq 1$ осуществляется соответствующим тормозом T_p , а прямой передачи - блокировочным фрикционом Φ .

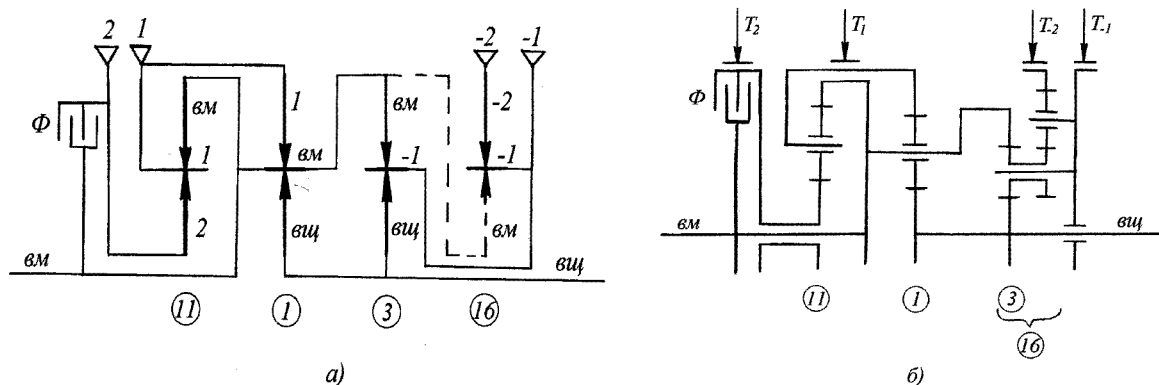
Рассмотрим пример построения схемы ПКП с присоединенным рядом смешанного зацепления, используя из таблицы 1 уравнения 11, 1, 3 и 16 кинематики ТДМ. Здесь мы дополнительно к одному уравнению 3 и условно годным 11 и 1 добавили уравнение 16, которое ранее нами было отбраковано по величине K характеристики планетарного ряда. Для уравнения 16 характеристика планетарного ряда $k = 1,07$. Ее величина, как и в ранее рассмотренном примере, может быть реализована в схеме ПКП путем использования присоединяемого ряда внешнего или смешанного зацепления с двумя последовательно связанными сателлитами. Предположим, что здесь, как и в предыдущем случае, уравнение 16 является годным по величине n_{Bo} относительной частоте вращения колец подшипника.

Структурная схема ПКП для группы уравнений 11. 1. 3. 16 представлена на рисунке 2а. На схеме у основного ряда 3 и присоединяемого 16 совпадают индексы у водила, а также эпицикла основного ряда и индекс нижней стрелки для присоединяемого ряда.

Тогда, согласно правилу [4], если у основного планетарного ряда совпадающий индекс кроме водила имеет эпицикл, то присоединяемый ряд будет смешанного зацепления с двумя последовательно связанными сателлитами. Следовательно, в рассматриваемом примере можно использовать присоединяемый ряд смешанного зацепления с двумя эпициклическими шестернями.

На структурной схеме ПКП малый эпицикл присоединяемого ряда смешанного зацепления обозначен штриховой стрелкой, так как он является общим для основного ряда 3 и присоединяемого 16, а связь между эпициклами этих рядов обозначена штриховой линией. Это обозначение, как и в ранее рассмотренном примере, введено для удобства построения кинематической схемы ПКП, которая представлена на рисунке 2б. Здесь видно, что эпицикл

основного ряда 3 одновременно является малым эпициклом присоединяемого ряда 16 смешанного зацепления.



**Рисунок 2 – Схема ПКП с присоединенным рядом смешанного зацепления:
а – структурная; б – кинематическая**

Полученная схема ПКП с присоединенным рядом смешанного зацепления обеспечивает, как и в ранее рассмотренном примере, получение трех передач переднего хода и двух заднего.

Таким образом, мы разобрали метод построения компактных кинематических схем ПКП с использованием присоединяемых рядов.

Для принятия решения о выборе наиболее рациональной схемы ПКП необходимо выполнить все этапы ее синтеза [4].

Литература

1. Красеньков В.И., Вашец А.Д. Проектирование планетарных механизмов транспортных машин. - М.: Машиностроение, 1986. – 272 с.
2. Шарипов В.М. Построение кинематических схем планетарных КП с использованием присоединяемых рядов// Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2001, № 4.
3. Шарипов В.М., Крумбольдт Л.Н., Маринкин А.П. Планетарные коробки передач. - Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 149 с.
4. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. – М.: Машиностроение, 2009. – 752 с.
5. Тракторы. Конструкция/ Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Машиностроение, 2012. – 790 с.
6. Балдин В. А. Планетарные передачи в общем, транспортном и специальном машиностроении. - М.: МАДИ (ТУ), 2000. – 185 с.

Буксование выравнивающего элемента синхронизатора в преселекторной коробке передач

д.т.н. проф. Шарипов В.М., к.т.н. Крючков В.А.

Университет машиностроения, ОАО «НИИ Стали»

8(495)223-05-23 (1111), trak@mami.ru, 8(916)679-44-51, Smash@list.ru

Аннотация. Рассмотрен процесс переключения передач с помощью синхронизатора в коробке передач автомобиля и трактора с учетом действующего поводкового момента от выключенной фрикционной муфты. Предложен метод расчета работы буксования и времени синхронизации для условий нагружения синхронизатора с учётом действующего от выключенной фрикционной муфты поводкового момента.

Ключевые слова: синхронизатор; коробка передач; переключение передач; работа буксования, время синхронизации

В настоящее время в автомобиле- и тракторостроении постепенно внедряются преселекторные коробки передач (КП), где переключение передач осуществляется без разрыва по-