

МНОЖЕСТВО ПРОИЗВОДНЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ ПЛАНЕТАРНЫХ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ

Пусть существует кинематическая схема планетарной дифференциальной (без постоянной опоры момента) коробки передач. Реализуемые ей передаточные отношения режимов работы удовлетворяют исследователя. Условимся считать её исходной кинематической схемой. Речь идёт преимущественно о трёх- или четырёхступенной коробке передач. Далее описывается множество производных – от данной исходной – кинематических схем планетарных коробок передач. Доказывается главное свойство производных схем: сохранение передаточных отношений режимов работы или, по крайней мере, разбивки передаточных отношений режимов работы исходной схемы. Тем самым задача удовлетворения заданным передаточным отношениям режимов работы распространяется, с точностью до постоянного множителя, на множество производных схем. Предлагается метод получения множества производных схем, характеризующихся различными свойствами, проиллюстрированный примером.

Производные схемы определим так. Это кинематические схемы общей с исходной схемой структуры [2, 3]. Кроме того, в производных кинематических схемах мощности взаимодействия звеньев в механизмах по режимам работы сохраняются теми же, что и в исходной схеме.

Известна графоаналитическая интерпретация [1] множества трёхступенных кинематических схем с единой разбивкой передаточных отношений, получаемого перемещением единичной точки по неизменному плану угловых скоростей звеньев. Предлагаемый здесь метод определения множества производных схем предназначен для автоматизированного проектирования коробок передач с произвольным числом w степеней свободы.

1. Кинематика исходной кинематической схемы

Пусть исходная кинематическая схема коробки передач имеет z механизмов и u звеньев, перечисленных списком $l_1, \dots, l_u, u > z$. Все многозвенные планетарные механизмы рассматриваемой схемы представляются эквивалентным набором (трёхзвенных) механизмов [2]. Вращение звеньев характеризуется угловыми скоростями вращения $\omega_i, i = 1, \dots, u$. В состав каждого механизма $j, j = 1, \dots, z$, входят звенья $a^{(j)}, b^{(j)}$ и $c^{(j)}$. Причем упомянутые три звена с верхним индексом j являются элементами общего списка u звеньев. Угловые скорости $\omega_a^{(j)}, \omega_b^{(j)}$ и $\omega_c^{(j)}$ звеньев каждого механизма связаны равенствами:

$$\omega_a^{(j)} = I_{ab}^{(j)} \omega_b^{(j)} + I_{ac}^{(j)} \omega_c^{(j)}, j = 1, \dots, z, \quad (1)$$

где $I_{ab}^{(j)}$ и $I_{ac}^{(j)}$ – передаточные отношения звена $a^{(j)}$ к звену $b^{(j)}$ и звена $a^{(j)}$ к звену $c^{(j)}$ при остановленном третьем звене в механизме j .

Система имеет бесконечно много решений. Если наложить $w = u - z$ условий, то решение будет определено единственным образом. Условия выберем в виде

$$\omega_k^r = B_k^r, k = P_1^r, \dots, P_w^r. \quad (2)$$

Здесь ω_k^r – угловая скорость вращения звена l_k, P_k – номер звена. Удобно снабдить выбранные номера верхним индексом r , который описывает вариант выбора P_1, \dots, P_w из списка звеньев. Каждому выбору звеньев отвечает определённый режим работы коробки передач $r, r = 1, \dots, R$.

Одно из чисел B_k^r отражает величину угловой скорости вращения ведущего звена. Без потери общности можно считать, что ведущим звеном является звено l_1 : $\omega_1^r = B_1^r$. На всех режимах работы r скорость ω_1^r ведущего звена равна константе B_1 . Остальные правые части B_k^r , $k = P_2^r, \dots, P_w^r$, принимают нулевые значения. Технически такие условия (2) реализуются включением тормоза, блокирующего звено l_k с корпусом, или включением элемента l_k управления механизмом муфты. Поэтому режимы работы r коробки передач, используемые для изменения ступеней передаточных отношений, в правой части (2) характеризуются константами $B_1^r = B_1$, $B_k^r = 0$, $k = P_2^r, \dots, P_w^r$.

Решением системы (1) на режиме работы r , определяемом условиями (2), является вектор ω_i^r , $i = 1, \dots, u$. В списке u звеньев звено l_2 примем в качестве ведомого звена. Угловая скорость ω_2^r вращения ведомого звена l_2 является компонентой данного вектора. Причём на любом режиме работы r , $r = 1, \dots, R$, скорость вращения ведомого звена, как было условлено для исходной схемы, удовлетворяет конструктора.

Обозначим скорости вращения звеньев $a^{(j)}$, $b^{(j)}$ и $c^{(j)}$ механизма j , $j = 1, \dots, z$, на режиме работы r переменными $\omega_a^{r(j)}$, $\omega_b^{r(j)}$ и $\omega_c^{r(j)}$.

Уравнения (1) могут рассматриваться как следствие баланса мощностей взаимодействия звеньев j -го механизма

$$M_a^{(j)} \omega_a^{(j)} + M_b^{(j)} \omega_b^{(j)} + M_c^{(j)} \omega_c^{(j)} = 0, j=1, \dots, z,$$

при условии

$$I_{ab}^{(j)} = -\frac{M_b^{(j)}}{M_a^{(j)}}, \quad I_{ac}^{(j)} = -\frac{M_c^{(j)}}{M_a^{(j)}}. \quad (3)$$

Здесь $M_a^{(j)}$, $M_b^{(j)}$, $M_c^{(j)}$ – момент взаимодействия звеньев $a^{(j)}$, $b^{(j)}$, $c^{(j)}$ в механизме j .

2. Кинематика производной кинематической схемы

По определению производная схема имеет ту же структуру, что и исходная. Поэтому угловые скорости $\omega_a'^{(j)}$, $\omega_b'^{(j)}$ и $\omega_c'^{(j)}$ звеньев каждого механизма производной схемы связаны равенствами

$$\omega_a'^{(j)} = I'_{ab}{}^{(j)} \omega_b'^{(j)} + I'_{ac}{}^{(j)} \omega_c'^{(j)}, \quad j = 1, \dots, z. \quad (4)$$

Эти равенства отличаются от равенств (1) лишь величинами передаточных отношений $I'_{ab}{}^{(j)}$ и $I'_{ac}{}^{(j)}$. Здесь и далее индекс «'» означает принадлежность производной схеме. Кроме того, система (4) дополняется условиями

$$\omega_k^r = B_k^r, \quad k = P_1^r, \dots, P_w^r. \quad (5)$$

Выбор звеньев, определяющих условия (5), совпадает с выбором звеньев, определяющих условия (2). Производная кинематическая схема реализует те же режимы работы r , $r = 1, \dots, R$, что и исходная.

Равенства (3) в случае производной схемы имеют вид

$$I'_{ab}{}^{(j)} = -\frac{M_b^{r(j)}}{M_a^{r(j)}}, \quad I'_{ac}{}^{(j)} = -\frac{M_c^{r(j)}}{M_a^{r(j)}}. \quad (6)$$

3. Единичный режим работы

Для образования производной от исходной схемы вводится понятие единичного режима работы e . По своему смыслу единичный режим – это режим работы исходной схемы, который в производной схеме соответствует режиму прямой передачи. Он задаётся в исходной схеме произвольными условиями

$$\omega_k^e = B_k^e, \quad k = P_1^e, \dots, P_w^e. \quad (7)$$

Имеется в виду, что числа B_k^e в общем случае отличны от нуля. Решением системы (1) на режиме e является единичный вектор $\omega_i^e, I = 1, \dots, u$. В силу произвольности чисел B_k^e данный вектор может совпасть с решением системы (1) на одном из режимов $r, r = 1, \dots, R$ лишь в случае совпадения условий (2) и (7).

На единичном режиме работы производной схемы числа B_k^e обеспечивают звеньям, определяющим режим, скорости вращения, равные скорости ведущего звена:

$$\omega_k^e = B_k^e = B_1, \quad k = P_1^e, \dots, P_w^e. \quad (8)$$

Условия (8) совместно с уравнениями (4) дают решение, при котором все звенья производной схемы на единичном режиме имеют одинаковые с ведущим звеном скорости вращения $\omega_i^e = B_1, i = 1, \dots, u$. Это всегда возможно, как свойство дифференциальных коробок передач (скорости вращения элементов управления механизмами муфт на прямой передаче равны нулю).

Неизменность мощности взаимодействия звеньев в механизмах исходной и производной схем на режиме e реализуется в виде равенств

$$\begin{aligned} M_a^{(j)} \omega_a^{e(j)} &= M'_a{}^{(j)} \omega_1, \\ M_b^{(j)} \omega_b^{e(j)} &= M'_b{}^{(j)} \omega_1, \\ M_c^{(j)} \omega_c^{e(j)} &= M'_c{}^{(j)} \omega_1, \quad j = 1, \dots, z. \end{aligned} \quad (9)$$

Напомним, что ω_1 – скорость вращения ведущего звена, на единичном режиме все звенья производной схемы вращаются с этой скоростью.

4. Преобразование передаточных отношений (параметров) механизмов

Подстановка (9) в равенства (6) с учётом равенств (3) дает формулы преобразования передаточных отношений механизмов производной кинематической схемы из передаточных отношений механизмов исходной:

$$I'_{ab}{}^{(j)} = I_{ab}{}^{(j)} \frac{\omega_b^{e(j)}}{\omega_a^{e(j)}}, \quad I'_{ac}{}^{(j)} = I_{ac}{}^{(j)} \frac{\omega_c^{e(j)}}{\omega_a^{e(j)}}. \quad (10)$$

Как было отмечено, скорости вращения звеньев $\omega_a^{e(j)}, \omega_b^{e(j)}$ и $\omega_c^{e(j)}$ – угловые скорости звеньев $a^{(j)}, b^{(j)}$ и $c^{(j)}$ механизма $j, j = 1, \dots, z$, исходной схемы на режиме e . В (10) отсутствует выражение передаточного отношения $I'_{cb}{}^{(j)}$. Оно получается соответствующим переименованием звеньев a и c .

Образование производных схем осуществляется за счёт изменения параметров механизмов исходной схемы. В общем случае параметром планетарного механизма будем считать передаточное отношение солнца к эпициклу при остановленном водиле. При этом если передаточное отношение планетарного механизма при его изменении достигает единицы, то в производной схеме этот механизм представляется механизмом муфты. Изменение переда-

точного отношения механизма в производной схеме может потребовать изменения функций (солнце, водило, эпицикл) взаимодействующих в нём звеньев. Цель изменения – реализация механизма в наиболее удачной конструктивной форме, например, с отрицательным параметром.

Преобразование планетарного механизма исходной схемы в планетарный механизм производной схемы в соответствии с (10) не вызывает затруднений. То же самое можно сказать о преобразовании механизма муфты в механизм муфты.

Для преобразования механизма муфты исходной схемы в планетарный механизм производной схемы выбирается та формула (10), в которой $I_{ab}^{(j)} = 1.00$. Тогда скорости вращения звеньев $a^{(j)}$ и $b^{(j)}$ на единичном режиме работы определяют (10) передаточное отношение $I'_{ab}{}^{(j)}$ планетарного механизма j производной схемы.

Если на единичном режиме работы $\omega_a^{e(j)} = 0$ и звено $a^{(j)}$ является висячим (взаимодействующим с другими звеньями только в одном механизме) звеном исходной схемы, то этот механизм преобразуется в механизм муфты производной схемы. В случае, когда звено $a^{(j)}$ с нулевой скоростью вращения не является висячим, задание единичного режима работы признаётся ошибочным.

Подстановка (10) в равенства (4) позволяет исключить передаточные отношения механизмов производной схемы:

$$\omega_a^e \cdot \omega'_a = I_{ab}^{(j)} \omega_b^e \cdot \omega'_b + I_{ac}^{(j)} \omega_c^e \cdot \omega'_c, j = 1, \dots, z.$$

Заменой переменных $\omega_i^e \cdot \omega'_i = \omega_i \cdot \omega_1, i = 1, \dots, u$, полученные равенства преобразуются в систему (1).

Та же замена переменных преобразует условия (5) в условия (2), если выполняется равенство

$$B_k^{rr} = B_k^r \frac{\omega_1}{\omega_k^e}, k = P_1^r, \dots, P_w^r.$$

Технически соблюдение данного равенства для производных схем выполнимо. При $k = 1 \omega_1 = \omega_k^e = B_1$. Следовательно, $B_1^r = B_1$. Равенство обеспечивается неизменностью скорости вращения ведущего звена для производной схемы. При $k = P_2^r, \dots, P_w^r$ в исходной схеме выполняется равенство $B_k^r = 0$. Следовательно, и в производной $B_k^{rr} = 0$, что обеспечивается включением элементов управления, связанных со звеньями k . Таким образом, на режиме работы r условия (2) и (5) совпадают.

5. Связь скоростей и нагрузок звеньев исходной и производной схем

Произведённая замена переменных означает, что решение системы (4) на любом режиме работы $r, r = 1, \dots, R$, определяемом условиями (5), связано с известным решением системы (1) при условии (2) следующей зависимостью:

$$\omega_i^{rr} = \frac{\omega_i^r}{\omega_i^e} \omega_1, i = 1, \dots, u. \quad (11)$$

Из (11) следует, что угловая скорость любого, в том числе и ведомого l_2 , звена производной схемы на всех режимах работы пропорциональна скорости звена исходной схемы. Поэтому в производной схеме сохраняется, по крайней мере, разбивка передаточных отношений режимов работы исходной схемы.

Неизменность мощности взаимодействия звена $a^{(j)}$ с остальными звеньями в механизме $j, j = 1, \dots, z$, исходной и производной схем на режиме работы

$$M'_a{}^{(j)} \omega'_a{}^r = M_a{}^{(j)} \omega_a{}^r$$

с учётом (11) позволяют определить момент этого взаимодействия на любом режиме работы $r, r = 1, \dots, R$, производной схемы:

$$M'_a{}^{(j)} = M_a{}^{(j)} \frac{\omega_a^e}{\omega_1}, \quad j = 1, \dots, z. \quad (12)$$

Таким образом, задание (7) режима e , а именно констант $B_k^e, k = P_1^e, \dots, P_w^e$, определяет производную от исходной кинематическую схему коробки передач:

- решением системы (1), дополненной условиями (7), является единичный вектор $\omega_i^e, i = 1, \dots, u$. Его компоненты определяют правую часть равенств (10)...(12);
- передаточные отношения механизмов производной схемы определяются равенствами (10);
- угловые скорости и моменты взаимодействия звеньев в механизмах определяются по формулам (11) и (12).

Формулы (11) и (12) позволяют отказаться от решения систем линейных уравнений при силовом и кинематическом анализе производных кинематических схем. Эти формулы устанавливают постоянные по режимам работы коэффициенты между скоростями и нагрузками звеньев исходной и кинематической схемы.

6. Множество производных схем коробок передач без постоянной опоры момента

Преобразование исходной схемы в производную происходит заданием единичного режима работы исходной схемы. Перейдём к способам задания (7) единичного режима e . Обязательной компонентой вектора ω_k^e является скорость ω_1^e ведущего звена на режиме e . Из (11) следует, что для сохранения $\omega'_1 = \omega_1$ необходимо задать

$$\omega_1^e = \omega_1 = B_1. \quad (13)$$

Оставшиеся $w - 1$ компоненты (в зависимости от числа степеней свободы их обычно две или три) задаются из следующих соображений.

Первое. Для преобразования планетарного механизма исходной схемы в механизм муфты производной схемы или же для сохранения механизма муфты и в производной схеме режим e доопределяется равенством

$$\omega_k^e = 0, \quad k = P_2^e. \quad (14)$$

Здесь P_2^e – номер висячего звена планетарного механизма или элемента управления механизмом муфты. Если равенство (14) применить к остальным звеньям $k = P_3^e, \dots, P_w^e$ исходной схемы, определяющим режим e , то в производной схеме будет обеспечена реализация прямой передачи.

Пусть висячее звено l_k исходной схемы в соответствующем планетарном механизме j является звеном $a^{(j)}$. В производной схеме это звено преобразуется в элемент управления механизмом муфты $a^{(j)}$, а планетарный механизм преобразуется в механизм муфты j . Угловую скорость элемента управления следует определить равенством

$$\omega_a^{(j)} = \omega_b^{(j)} - \omega_c^{(j)}, \quad (15)$$

правая часть которого есть разность угловых скоростей блокируемых муфтой звеньев $b^{(j)}$ и $c^{(j)}$.

Второе. Пусть в производной схеме на каком-либо режиме работы требуется установить передаточное отношение $U' = \omega'_1/\omega'_2$. Как следует из (11), в этом случае равенство (13) дополняется равенством

$$\omega_2^e = U'/U \cdot \omega_1, \tag{16}$$

где ω_2^e – угловая скорость ведомого звена как компонента единичного вектора ω_k^e , $k=1, \dots, i$; U – передаточное отношение исходной схемы на том же режиме работы.

Режим работы e в этом случае доопределяется до w условий одним или двумя равенствами

$$\omega_k^e = B_k^e, \quad k=P_3^e, \dots, P_w^e, \tag{17}$$

с произвольными правыми частями.

Приведём пример, который показывает, что множество производных кинематических схем, полученных от данной исходной схемы, бесконечно, а алгоритм определения параметров механизмов производных схем легко формализуется.

Пусть, работая с 4-степенной структурой (рис. 1, а), исследователь получил кинематическую схему (рис. 1, б) планетарной коробки передач, реализующей 6 режимов работы переднего хода при транспортной разбивке передаточных отношений и режим работы заднего хода. Функция ведущего и ведомого звеньев возложена на звенья 4 и 5 структуры. Функцию связи с элементами управления выполняют пять звеньев 6, 7, 8, 9, а. Все пять звеньев – висячие. Механизмы структуры, представляемые списком звеньев 136, 157 и 34а, выполнены в кинематической схеме механизмами муфт. Механизмы 124, 238 и 259 выполнены планетарными механизмами. На рисунке указаны их параметры. В таблице 1 в столбце, соответствующем схеме 1, приведены передаточные отношения реализуемых режимов работы. В первых столбцах таблицы приведены включаемые на режимах работы элементы управления, а также разбивки передаточных отношений между соседними режимами и между режимом первой передачи и передачи заднего хода. Примем данную кинематическую схему в качестве исходной, передаточные отношения режимов работы которой удовлетворяют исследователя. Далее в примере, чтобы не связывать себя перестановками и переименованиями, нижний индекс угловой скорости вращения звена примем совпадающим с номером звена структуры. При этом ω_4 – скорость вращения ведущего звена, ω_5 – скорость вращения ведомого звена.

Первоначально поставим задачу найти все производные схемы с полным числом механизмов муфт. В данном случае с тремя муфтами, реализующими режим прямой передачи. Так как структура имеет 5 механизмов с висячими звеньями, связанными с элементами

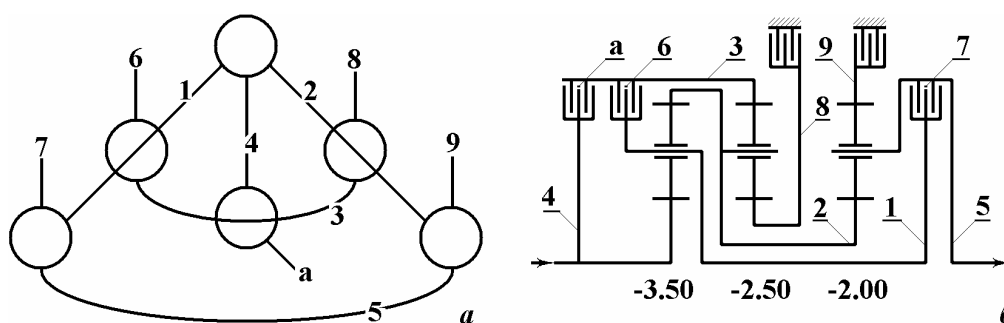


Рис. 1. Четырёхстепенная структура (а) и кинематическая схема 1 данной структуры (б)

управления, соответствующие пять механизмов в кинематической схеме могут представляться механизмами муфт, а висячие звенья – элементами управления этими механизмами – блокирующими муфтами. Получение производной схемы с полным числом механизмов муфт достигается заданием единичного режима работы исходной схемы, определяемого

Таблица 1

Характеристики режимов работы исходной и производных схем с полным числом механизмов муфт

№ п/п	Элементы управления	Разбивка передач	Передаточные отношения режимов работы для схемы №						
			1 и 8	2 и 9	3	4	5	6	7
1	6 8 9	2,00	8,400	6,533	4,200	2,800	2,000	1,000	-1,400
2	8 9 а	1,40	4,200	3,267	2,100	1,400	1,000	0,500	-0,700
3	6 9 а	1,50	3,000	2,333	1,500	1,000	0,714	0,357	-0,500
4	6 7 8	1,56	2,000	1,556	1,000	0,667	0,476	0,238	-0,333
5	7 8 а	1,29	1,286	1,000	0,643	0,429	0,306	0,153	-0,214
6	6 7 а		1,000	0,778	0,500	0,333	0,238	0,119	-0,167
7	7 8 9	-1,40	-6,000	-4,667	-3,000	-2,000	-1,429	-0,714	1,000

тремя равенствами (14). Эти равенства задают нулевую скорость вращения звеньям, связанным с элементами управления. В таком случае единичный режим работы совпадает с режимом работы исходной схемы, реализующим конкретную передачу (табл.1, столбец 2). Всего таких режимов работы семь. Им соответствует семь производных схем. Перебор начнём с прямой передачи (режим 6), затем перейдём к пятому режиму и будем перебирать так вплоть до режима работы первой передачи. Затем вернёмся к режиму 7 – задний ход.

Режим работы 6 есть режим прямой передачи. По определению производной схемы она совпадает с исходной (рис. 1, б).

Единичный режим работы, совпадающий с режимом пятой передачи, задаётся равенством (13) и тремя условиями (14):

$$\omega_4 = 1, \omega_7 = 0, \omega_8 = 0, \omega_a = 0.$$

Посредством кинематического анализа – равенств (1) исходной схемы и приведённых выше условий – определяются остальные компоненты единичного вектора:

$$\omega_1 = 0,778, \omega_2 = 0,714, \omega_3 = 1,000, \omega_5 = 0,778.$$

Определим (10) передаточные отношения механизмов производной схемы в порядке механизмов исходной (рис.1, б) слева направо:

– механизм муфты 34а. $I'_{34} = 1,00 \cdot (1,00/1,00) = 1,00$. Данный механизм остался механизмом муфты и в производной схеме;

– механизм муфты 136. $I'_{13} = 1,00 \cdot (1,00/0,778) = 1,286$. Механизм муфты исходной схемы в производной схеме преобразуется в планетарный механизм. Планетарные механизмы всех схем в примере исполняются в конструктивной форме с отрицательным параметром. В данном случае механизм с параметром $I'_{61} = -3,50$ реализует требуемое передаточное отношение 1,286 эпицикла 1 к водилу 3;

– планетарный механизм 124. $I'_{42} = -3,50 \cdot (0,714/1,00) = -2,50$. Функции звеньев планетарного механизма сохранились, а параметр уменьшился в 1.4 раза;

– планетарный механизм 238. $I'_{32} = 1,40 \cdot (0,714/1,00) = 1,00$. Планетарный механизм исходной схемы в производной представляется механизмом муфты. Здесь 1,40 – передаточное отношение эпицикла 3 к водилу 2 механизма с параметром – 2,50;

зуют режим работы заднего хода с передаточным отношением, равным передаточному отношению режима 7 исходной схемы. Выбор данных режимов работы в качестве единичного режима позволяет получить ещё две производные схемы. Здесь они не приводятся, так как при выполнении их планетарных механизмов в конструктивной форме с отрицательным параметром эти схемы не планарны.

Хотя в данном примере рассмотренное множество производных схем с полным числом механизмов муфт довольно многочисленно, но оно всегда конечно. Компоненты (14) единичного вектора при допущении исследователем пониженного числа механизмов муфт задаются произвольными величинами. Число вариантов такого задания и число соответствующих производных схем бесконечно. Каждое «понижение» на единицу числа механизмов муфт освобождает исследователя от необходимости задавать равной нулю правую часть (14) и позволяет ставить иные условия. Например, требовать определённого передаточного отношения высшей передачи. Пусть в рассматриваемом примере исследователь желает получить производную схему, передаточные отношения режимов работы которой совпадают с передаточными отношениями исходной схемы, но с пониженным до одного числом механизмов муфт. Если сохраняется лишь один механизм муфты, например, 136 с блокирующей муфтой 6, то появляется возможность задать единичный режим работы требуемой (16) скоростью вращения ведомого звена 5 и произвольной величиной скорости вращения какого-либо ещё звена, например, звена 1:

$$\omega_4 = 1, \omega_6 = 0, \omega_5 = 1,000, \omega_1 = 0,750.$$

Кинематический анализ исходной схемы при таких условиях определяет остальные компоненты единичного вектора:

$$\omega_2 = 0,679, \omega_3 = 0,750.$$

Соответствующая производная схема 8 (табл. 3, рис. 8) реализует те же передаточные отношения режимов работы, что и исходная схема (табл. 1).

Таблица 3

Производные кинематические схемы с пониженным числом механизмов муфт

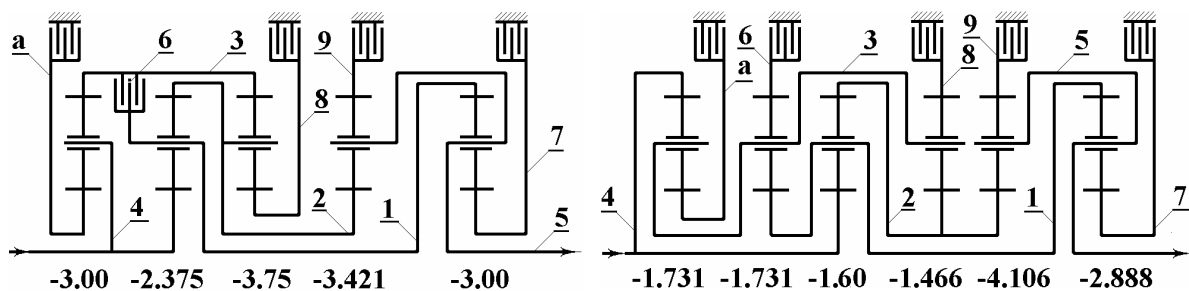


Рис. 8. Кинематическая схема 8

Рис. 9. Кинематическая схема 9

Производная схема (рис. 9) может вообще не содержать механизмов муфт. При получении данной схемы исследователь потребовал реализации тех же передаточных отношений, что и схема 2, задав необходимую (16) скорость вращения ведомого звена 5 на единичном режиме. Кроме того, посредством варьирования скоростями вращения блокирующих муфт 6 и 7:

$$\omega_1 = 1, \omega_5 = 0,7778, \omega_6 = -1,000, \omega_7 = -0,200$$

(при этом остальные определяемые компоненты единичного вектора

$$\omega_1 = 0,578, \omega_2 = 0,457, \omega_3 = 1,578)$$

исследователь добивался одновременно как попадания параметров планетарных механизмов в приемлемый интервал, так и выполнения наибольшим числом висячих звеньев функции эпициклов для упрощения конструкции.

Понятно, что все приведённые здесь производные схемы могут быть получены независимо от исходной схемы. Однако работа исследователя на множестве производных схем позволяет сократить время на решение основной задачи синтеза – удовлетворения заданным передаточным отношениям режимов работы. И, тем самым, уделять больше внимания остальным характеристикам кинематических схем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Крейнес М.А., Розовский М.С.** Зубчатые механизмы / Выбор оптимальных схем. – М.: Наука.– 1972. – 427 с.
2. **Шеломов В.Б.** Свойства структур планетарных коробок передач. – СПб.: «Нестор».– 2004. – 206 с.
3. **Шеломов В.Б.** Одноосные и многоосные производные кинематические схемы планетарных коробок передач //Проблемы механики современных машин. Том 1. Издательство ВСГТУ, Улан-Удэ. – 2006. С.113–117.

Поступила в редакцию 15.04.2010