

ОПЫТ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА МЕХАНИЗМОВ

В работе [1] автора настоящей статьи была впервые опубликована так называемая универсальная структурная система уравнений, позволяющая решать разнообразные задачи синтеза структур механических систем.

Покажем возможность универсальной структурной системы уравнений на примере структурного синтеза полного состава плоских механизмов с числом звеньев n и с неподвижными вращательными кинематическими парами или парами пятого класса p_5 .

Запишем для указанных условий универсальную структурную систему в виде

$$\begin{cases} p_5 = \tau + (\tau - 1)n_{\tau-1} + \dots + i \cdot n_i + \dots + n_1, & (1.1) \\ n = 1 + n_{\tau-1} + \dots + n_i + \dots + n_1, & (1.2) \\ W = 3n - 2p_5, & (1.3) \end{cases}$$

где τ – наиболее сложное – базисное звено кинематической цепи, входящее в τ кинематических пар с другими звеньями, n_i – число звеньев, добавляющих в цепь по i кинематических пар, W – подвижность кинематической цепи.

В качестве исходного параметра для полной систематизации механизмов ($W = 1$) используем параметр τ . Если задаться $\tau = 1$, то согласно (1.1) получим $p_5 = 1$, $n = 1$.

Удовлетворяет этим условиям механизм, показанный на рис. 1, который называют начальным, входным или механизмом первого класса по Ассурю.

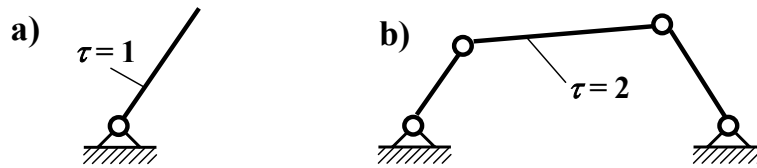


Рис. 1. Простейшие механизмы

Зададимся $\tau = 2$ и по системе (1) найдем, что

$$\begin{cases} p_5 = 2 + n_1, & (2.1) \\ n = 1 + n_1, & (2.2) \\ 1 = 3n - 2p_5. & (2.3) \end{cases}$$

Из уравнения (2.2) получим $n_1 = n - 1$. Для этого значения n_1 по (2.1) $p_5 = n + 1$, подставим p_5 в (2.3) и получим $n = 3$.

Таким образом, при $\tau = 2$ можно построить единственный механизм – шарнирный четырехзвенник (четвертое звено – стойка), показанный на рис. 1, b).

Прежде, чем перейти к более сложным цепям, т.е. с $\tau \geq 3$, проведем некоторые преобразования системы (1). Из уравнения (1.2) выразим n_i в общем виде

$$n_i = n - 1 - n_{\tau-1} - \dots - n_i - \dots - n_3 - n_2. \quad (3)$$

При этом значении n_i из (1.1) получим

$$p_5 = (\tau - 1) + n + (\tau - 2)n_{\tau-1} + \dots + (i - 1)n_i + \dots + 2n_3 + n_2. \quad (4)$$

Подставив p_5 в (1.3), найдем n_2

$$n_2 = (n - W) / 2 - (\tau - 1) - 2n_3 - \dots - (i - 1)n_i - \dots - (\tau - 2)n_{\tau-1}. \quad (5)$$

При заданном τ минимальное число звеньев цепи, из которых может быть построен механизм, найдем по (5) при предположении, что кроме τ -угольника в цепь будут входить лишь звенья n_i , т.е., когда все более сложные звенья, начиная с n_2 и до $n_{\tau-1}$ не будут использоваться в цепи, т.е., когда

$$n_2 = n_3 = \dots = n_i = \dots = n_{\tau-1} = 0.$$

При этом условии из (5) получим $(n_{\min} - W)/2 - (\tau - 1) = 0$, откуда

$$n_{\min} = 2(\tau - 1) + W. \quad (6)$$

Очевидно, что из (6) можно найти

$$\tau_{\max} = (n - W)/2 + 1. \quad (7)$$

Обратимся вновь к нашей задаче. Усложнив базисное звено до треугольного ($\tau = 3$), из системы (1) получим

$$\begin{cases} p_5 = 3 + 2n_2 + n_1, & (8.1) \\ n = 1 + n_2 + n_1, & (8.2) \\ 1 = 3n - 2p_5. & (8.3) \end{cases}$$

Из уравнения (8.2) найдем $n_1 = n - 1 - n_2$, (9)

а подставив это значение в (8.1), получим

$$p_5 = n + n_2 + 2, \text{ что по (8.3), даст} \quad (10)$$

$$n_2 = (n - 5)/2, \text{ а по (9)} \quad (11)$$

$$n_1 = (n + 3)/2. \quad (12)$$

Из (11) следует, что при целочисленных положительных значениях исследуемых параметров, число звеньев механизмов, описываемых системой (8), не может быть назначено менее 5. При этом n может принимать нечетные значения из ряда чисел 5, 7, 9 и т.д. При любом выбранном из обозначенного ряда значении n , число звеньев, добавляющих в цепь по две кинематические пары (n_2), определится зависимостью (11), а число звеньев, добавляющих в цепь по одной паре (n_1) – зависимостью (12).

Приступим к построению механизмов, удовлетворяющих системе (8). Пусть $n = 5$, тогда по (11) $n_2 = 0$, по (12) $n_1 = 4$, а по (8.3) $p_5 = 7$. Согласно (7) при $W = 1$ и $n = 5$ максимально большим значением может быть принято $\tau = 3$, т.е. при $n = 5$ цепи с четырехугольными базисными звеньями образованы быть не могут.

Итак, согласно выполненным расчетам при $n = 5$ к треугольному базисному звену ($\tau = 3$) должны быть добавлены четыре звена n_1 .

Прежде, чем показать приемы образования шестизвенников (шестое звено - стойка), обратим внимание на следующие три важных параметра кинематических цепей: на число ветвей γ , на число изменяемых замкнутых контуров в цепи α и на число выходов цепи δ .

Подробно эти параметры кинематических цепей рассмотрены автором в работе [2]. Здесь мы лишь приведем зависимости, по которым γ , α и δ могут определяться:

$$\gamma = p_5 - (n - 1) = \tau + (\tau - 2)n_{\tau-1} + \dots + (i - 1)n_i + \dots + n_2, \quad (13)$$

$$\gamma = \alpha + \delta. \quad (14)$$

Обозначения в (13) и (14) разъяснены выше. Для рассматриваемого случая: $\tau = 3$, $n = 5$, $n_2 = 0$, $n_1 = 4$, по (13) найдем $\gamma = 3$.

Построим отличающиеся друг от друга пятизвенные кинематические цепи. При условии, когда замкнутых контуров в цепи нет, т.е. $\alpha = 0$, по (14) получим число выходов $\delta = 3$. Таких цепей можно построить всего две. Они показаны на рис. 2,а и 2,б. Как бы ни переставлять поводки n_1 иных цепей образовать нельзя.

Зададимся числом выходов $\delta = 2$, тогда по (14) $\alpha = 1$. Таких схем можно построить три, две с четырехугольным изменяемым замкнутым контуром (рис. 2,с и 2,д) и одну с пятиугольным изменяемым контуром (рис. 2,е). В схеме 2,с, по сравнению с рис. 2,а, звено 4 замкнуло контур и приросло парой, став звеном треугольным. Звено это осталось звеном n_1 , т.к. добавило в цепь лишь одну пару как и звено 4 на рис. 2,а.

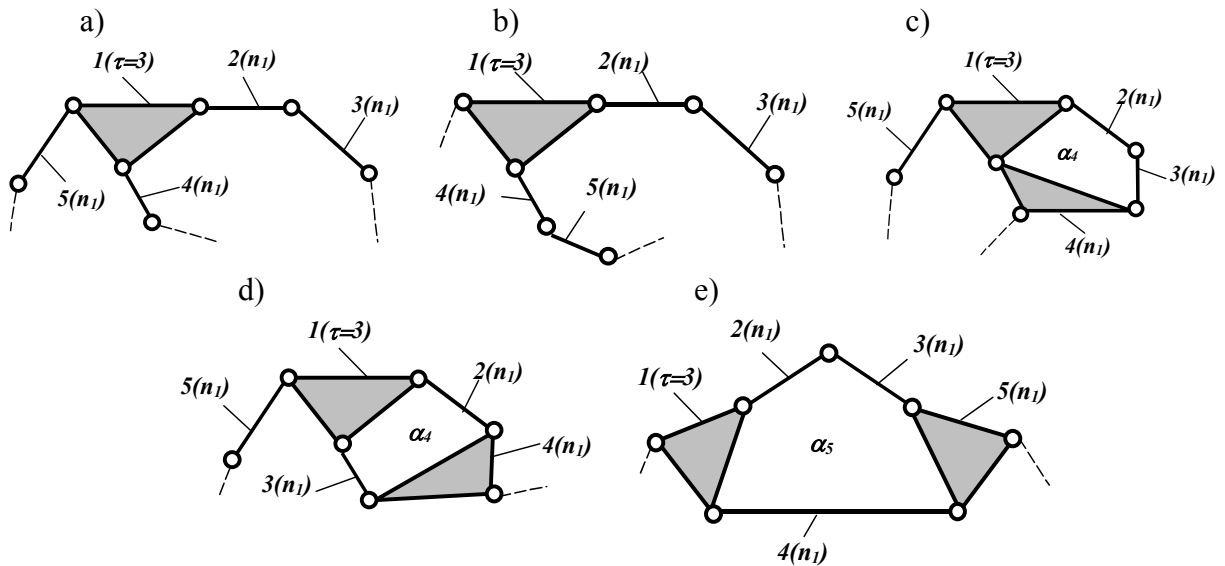


Рис. 2. Пятизвенные кинематические цепи с $W = 1$ и $\tau = 3$

Из пяти полученных цепей можно образовать всего семь механизмов, отличающихся кинематической схемой и выбранным ведущим звеном (рис. 3).

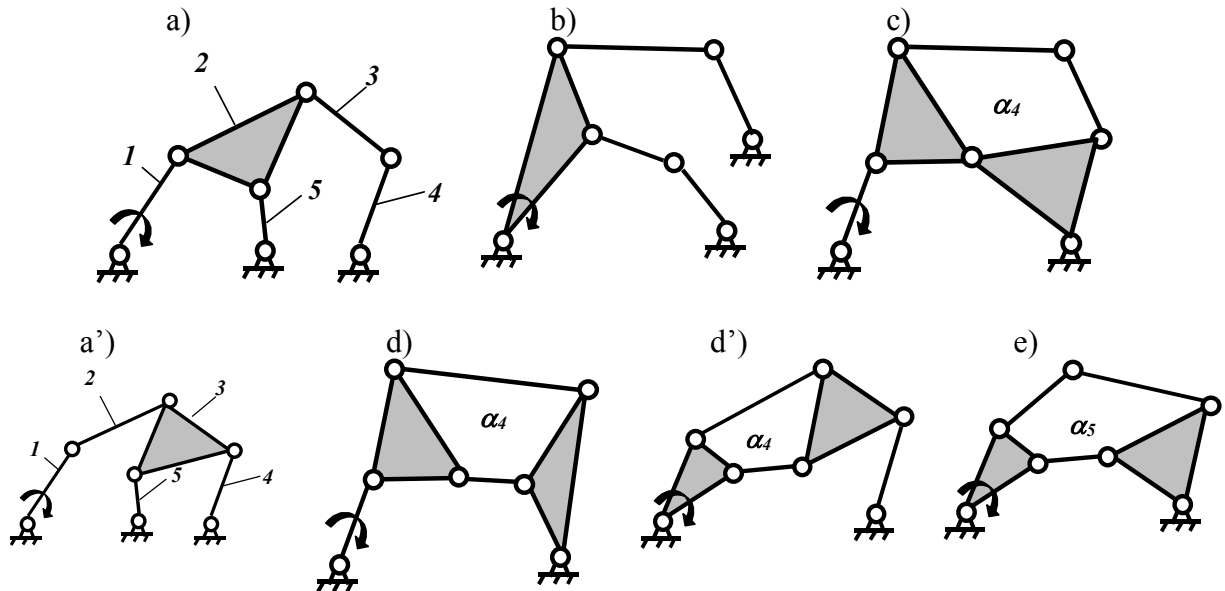


Рис. 3. Полный состав шестизвенных шарнирных механизмов

Разъясним отличия механизмов, приведенных на рис. 3. Механизм (рис. 3,а) состоит из ведущего звена 1 и двух диад (3-4) и (2-5). Если ведущим сделать звено 5, то механизм не изменится – в его составе также выделяется две диады (3-4) и (2-1). Если же за ведущее звено принять звено 4, то механизм существенно структурно изменится, он будет состоять из ведущего звена и трехпроводковой, не распадающейся на диады группы Ассур (2-1-3-5). Такой механизм и показан на рис. 3,а'. Механизм (рис. 3,б) при любом ведущем звене, соединенном со стойкой, будет образовываться диадами. Также диадными оказываются механизмы, показанные на рис. 3,с и 3,е. Даже меняя в них ведущие звенья, принципиальных отличий в механизмах не получить.

В механизме, рис. 3,д, при показанном ведущем звене получаем весьма сложный механизм четвертого класса с четырехзвенной группой Ассур, содержащей замкнутый четырехугольный изменяемый контур. Тот же механизм при изменении ведущего звена (рис. 3,д') упрощается, он оказывается состоящим из ведущего звена и трехпроводковой четырехзвенной группы Ассур, такой же, как в механизме (рис. 3,а'), но иным образом

встроенной в цепь, так, что число выходов в механизме оказывается равным двум.

Усложним механизм до семи подвижных звеньев ($n = 7$). Прежде всего по (7) найдем, что при $n = 7$ и $W = 1$, $\tau_{\max} = 4$. Это означает, что схемы семизвенных кинематических цепей могут строиться как на треугольном, так и на четырехугольном базисных звеньях.

Начнем с $\tau = 3$. По (11) найдем, что при $n = 7$, $n_2 = 1$, а по (12) $n_1 = 5$. По (13) найдем число ветвей $\gamma = 3 + n_2 = 4$.

На рис. 4 приведены все шесть семизвенных кинематических цепей без изменяемых замкнутых контуров с $\delta = \gamma = 4$. Их отличия заключаются в числе звеньев между выходами. Поясним это отличие. Введем понятие числа сторон цепи λ . Очевидными являются следующие утверждения: линейное звено – поводок имеет две стороны, а именно, AB и BA (рис. 4,а), если его “обойти” по часовой стрелке. Треугольное звено имеет три стороны CD , DE и EC (рис. 4,а) и т.д., т.е. τ - угольник имеет τ сторон. Такое же по сложности звено как τ - угольник имеет также τ сторон. Если известны все числа звеньев n_i от $n_{\tau-1}$ до n_1 , то общее число сторон цепи окажется равным

$$\lambda = \tau + \sum_{i=1}^{\tau} i n_{i-1}. \quad (15)$$

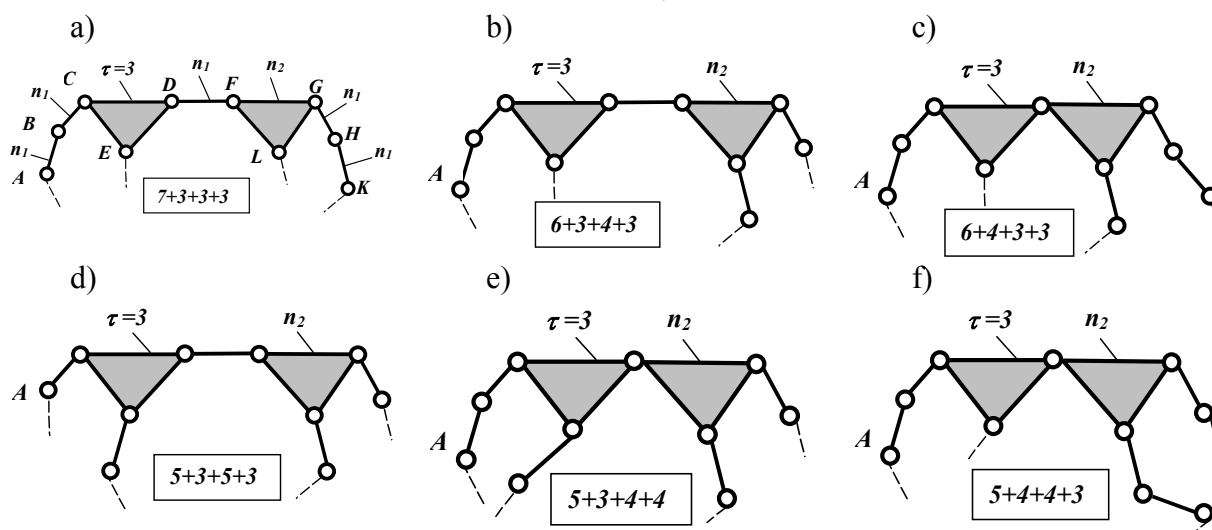


Рис. 4. Семизвенные кинематические цепи, не содержащие изменяемых замкнутых контуров

Если в цепи (рис. 4,а) образовывать изменяемый замкнутый контур, например, так как показано на рис. 6.а, то, во-первых, по (14) число выходов изменится с четырех до трех, а, во-вторых, число сторон цепи увеличится на единицу, т.к. замыкающее линейное звено должно стать треугольным. На этом основании можно записать, что суммарное число сторон цепи λ_c всегда будет увеличиваться по сравнению с λ по (15) на число образованных изменяемых контуров α :

$$\lambda_c = \lambda + \alpha. \quad (16)$$

При образовании замкнутых изменяемых контуров все стороны цепи разделятся на наружные λ_n и внутренние λ_g (внутри изменяемых контуров). Очевидно, что

$$\lambda_c = \lambda_n + \lambda_g. \quad (17)$$

Число внутренних сторон в цепи можно определить по формуле

$$\lambda_g = \sum_{i=4}^{\alpha_{\max}} i \alpha_i, \quad (18)$$

где i – число сторон изменяемого замкнутого контура; α_i – число замкнутых i – сторонних контуров.

Простейшим изменяемым замкнутым контуром является четырехугольный α_4 . Самым сложным контуром является α_{\max} , поэтому в (18) пределы изменения i показаны

от 4 до α_{\max} . Очевидно, что максимальное число наружных сторон цепи есть разница между суммарным числом сторон и минимально возможным числом внутренних сторон, которое определится при применении лишь простейших четырехугольных контуров, т.е.

$$\lambda_{\text{в min}} = 4\lambda_4. \quad (19)$$

Тогда

$$\lambda_{\text{н max}} = \lambda_{\text{с}} - \lambda_{\text{в min}} = \lambda_{\text{с}} - 4\alpha_4. \quad (20)$$

В работе [4] показано, что минимальное число наружных сторон цепи определяется зависимостью

$$\lambda_{\text{н min}} = 3\delta + 1. \quad (21)$$

Действительное число наружных сторон в конкретной цепи может принимать значения от $\lambda_{\text{н max}}$ до $\lambda_{\text{н min}}$.

Если число наружных сторон цепи определено, то между выходами цепи оно может быть разбито различным образом. При этом минимальное число сторон между двумя выходами не может приниматься менее 3, в противном случае цепь не будет работоспособна. Для рассматриваемых цепей, состоящих из семи подвижных звеньев с $\tau = 3$, $n_2 = 1$, $n_1 = 5$, $\delta = 4$ (рис. 4), когда $\alpha = 0$ по (16) и (15) $\lambda_{\text{с}} = \lambda = 3 + 3n_2 + 2n_1 = 3 + 3 \cdot 1 + 2 \cdot 5 = 16$.

По (18) имеем $\lambda_{\text{в}} = 0$ и тогда по (17) $\lambda_{\text{н}} = \lambda_{\text{с}} = 16$. Между четырьмя выходами это число – 16 может быть представлено в виде сумм: 7+3+3+3, 6+4+3+3, 5+5+3+3 и 5+4+4+3. Возможно построение отличающихся цепей при перестановке порядка цифр внутри сумм. Например: 6+4+3+3 и 6+3+4+3. С учетом изложенного, на рис. 4 построены все шесть отличающихся друг от друга семизвенных цепей с $\tau = 3$ и без изменяемых замкнутых контуров. Под каждой из цепей показано использованное число сторон между четырьмя выходами.

На рис. 4,а показана цепь (7+3+3+3). Эти цифры отображают “расстояния” между выходами: от выхода *A* к выходу *K* всего семь сторон: *AB*, *BC*, *CD*, *DF*, *FG*, *GH* и *HK*; от выхода *K* в этом же направлении обхода к выходу *L* три стороны: *KH*, *HG* и *GL*, далее, от выхода *L* к выходу *E* три стороны *LF*, *FD* и *DE*, и от выхода *E* к выходу *A* три стороны: *EC*, *CB* и *BA*. Аналогично могут быть объяснены все остальные схемы (рис. 4,б,с,д,е,ф), если начинать обход с точки *A*. Все построения ведутся от базисного звена τ путем присоединения одного звена n_2 и пяти звеньев n_1 в различной последовательности.

Полный состав механизмов – восьмизвенников показан в таблице 1. Механизмы образуются путем присоединения семизвенных кинематических цепей к стойке – восьмому звену. Всего в таблице 1 из кинематических цепей (рис. 4) приведены отличающиеся 8 механизмов (позиции с 1 по 8).

В качестве примера покажем на рис. 5 образование различных механизмов из кинематической цепи, приведенной на рис. 4,с.

Если ведущим выбрано звено 1, то механизм оказывается диадным, т.е. второго класса (рис. 5,с'). В нем легко выделить диады из звеньев (6-7), (4-5) и (2-3). Если же ведущим принять звено 7 (рис. 5,с''), то механизм перейдет в третий класс, в нем кроме диады (1-2) появится трехповодковая четырехзвенная группа Ассура (3-4-5-6). Если задать движение звену 3 или 5, механизм останется диадным, как и тот, что показан на рис. 5,с'. В левом верхнем углу клетки будем ставить номера механизмов, а в правом верхнем углу – класс механизма и сложность присоединяемой группы Ассура. Например, 3кл – 4г будет означать: механизм 3-его класса с четырехзвенной группой Ассура.

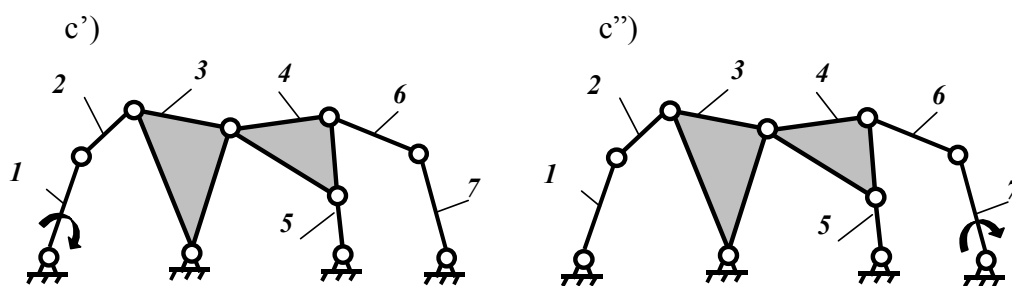


Рис. 5. Отличия восьмизвенных механизмов в зависимости от выбора ведущего звена

Если изменить число выходов δ с 4 до 3, то по (14) получим $\alpha = 1$. Тогда по (16) $\lambda_c = 16 + 1 = 17$.

Число внутренних сторон изменяемого замкнутого контура может быть от 4 до 7. При четырехугольном контуре по (18) или (19) $\lambda_g = 4 \cdot 1 = 4$. Тогда согласно (17) $\lambda_n = \lambda_c - \lambda_g = 17 - 4 = 13$.

Между тремя выходами это число можно представить суммами: $7+3+3$, $6+4+3$, $5+5+3$. Вторая и третья суммы могут быть записаны в вариантах $6+3+4$ и $5+3+5$. Все шесть семизвенных кинематических цепей с $\alpha = 4$ показаны на рис. 6.

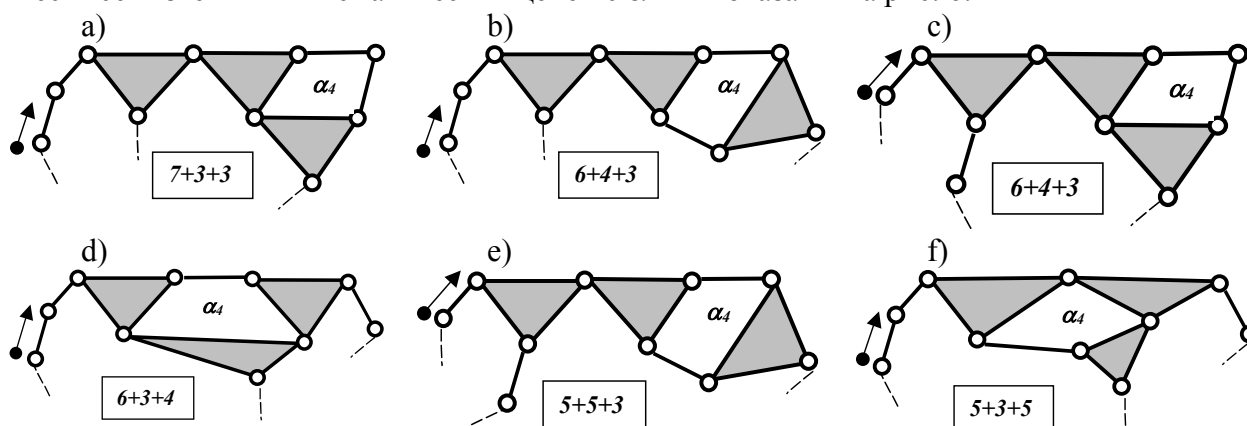


Рис. 6. Семизвенные кинематические цепи с одним изменяемым четырехугольным контуром

Из приведенных на рис. 6 шести кинематических цепей можно создать одиннадцать различных восьмизвенников. Все они приведены в таблице 1 под номерами от 9 до 19-ого. Если из цепи (рис. 6,а) можно получить единственный механизм – диадный, какому бы звену, связанному со стойкой, ни было задано движение, то остальные цепи позволяют получать по два механизма в зависимости от выбранного ведущего звена. Для удобства восприятия отличий первым на схемах показано звено, которому задается движение. При этом кинематическая цепь разворачивается, не изменяясь по существу.

Если ввести в цепь пятиугольный замкнутый изменяемый контур, то по (15) $\lambda = 3 + 3n_2 + n_1 = 16$, по (16) $\lambda_c = \lambda + \alpha = 16 + 1 = 17$, по (18) $\lambda_g = 5$, а по (17) $\lambda_n = 17 - 5 = 12$. Это число между тремя выходами можно представить суммами: $6+3+3$, $5+4+3$, $4+4+4$. Вторая сумма имеет вариант $5+3+4$. К тому же, в варианте $5+3+4$ возможна установка двух поводков подряд. Все пять вариантов кинематических цепей с пятиугольным изменяемым замкнутым контуром показаны на рис. 7. Принимая разные звенья за ведущие, из пяти цепей, присоединением их к стойке, удастся получить девять отличающихся механизмов. Они помещены в таблице 1 под соответствующими номерами с 21 по 28 с указанием класса механизма и сложности входящих в них групп.

При шестиугольном изменяемом контуре по (16) $\lambda_c = 17$, по (18) $\lambda_g = 6$ и по (17) $\lambda_n = 17 - 6 = 11$, что может быть показано суммами $5+3+3$ и $4+4+3$.

Вторая сумма может быть представлена еще и как $4+3+4$. Все три кинематические цепи приведены на рис. 8.

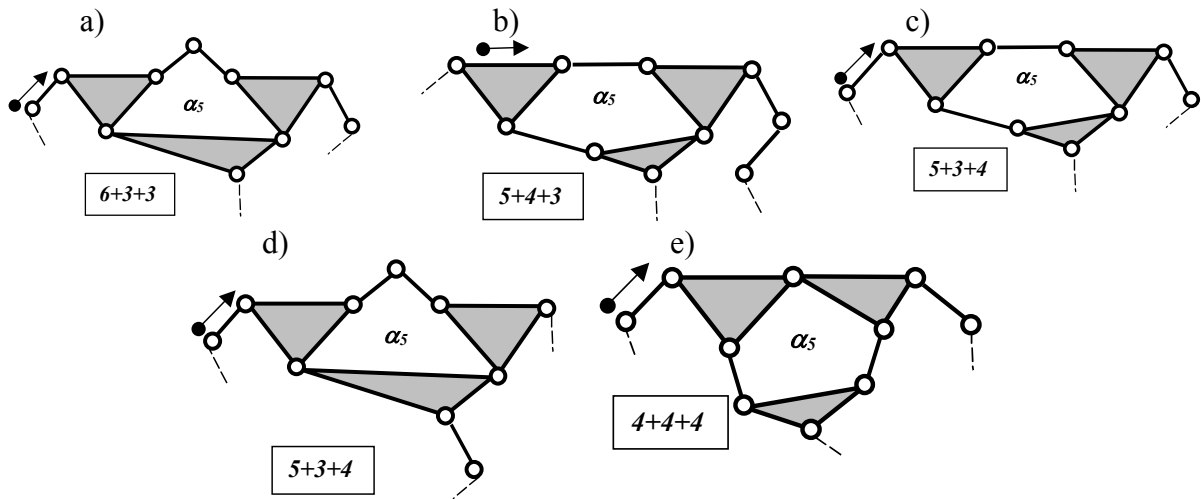


Рис. 7. Семизвенные кинематические цепи с одним пятиугольным изменяемым контуром

Используя кинематические цепи (рис. 8), можно построить четыре отличающихся восьмизвенных механизма, приведенные в таблице 1 на позициях 29, 30, 31 и 32.

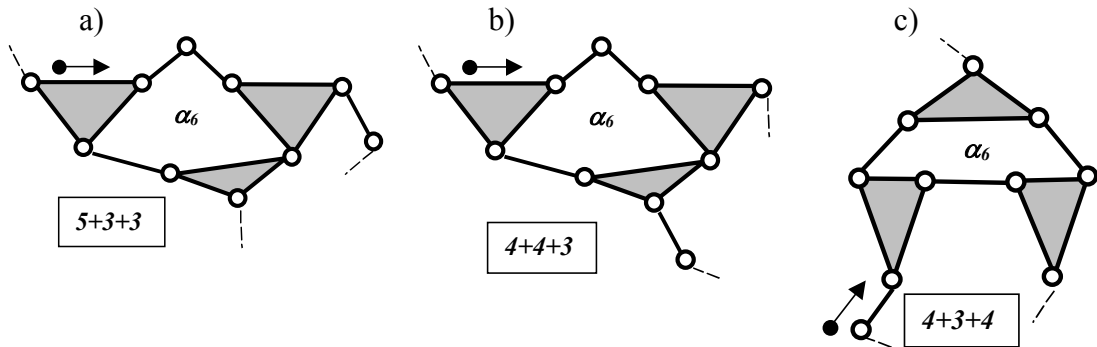


Рис. 8. Семизвенные кинематические цепи с шестиугольным замкнутым изменяемым контуром

Семиугольный изменяемый контур обеспечивает значение $\lambda_{н} = 17 - 7 = 10$. Эта цифра может быть представлена расстояниями между выходами единственным способом, т.е. как $4+3+3$. Кинематическая цепь, удовлетворяющая этому условию, приведена на рис. 9.

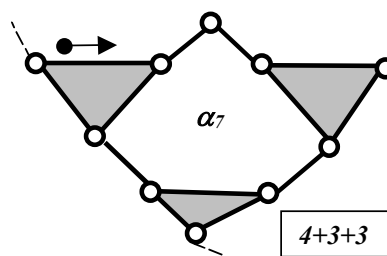


Рис. 9. Семизвенная кинематическая цепь с семиугольным изменяемым контуром

Из этой цепи путем присоединения ее свободными кинематическими парами к стойке можно получить единственный восьмизвенный механизм, приведенный в таблице 1, позиция 33.

Уменьшим число выходов семизвенной кинематической цепи δ до 2. Тогда согласно (14) при $\gamma = 4$, $\alpha = 2$, т.е. цепь должна содержать два изменяемых замкнутых контура.

В соответствии с (16) $\lambda_c = \lambda + \alpha = 16 + 2 = 18$. Начнем рассмотрение с простейшего случая, т.е. когда контуры четырехугольные. Согласно (18) и (19) $\lambda_g = 4 \cdot 2 = 8$, а по (17) будет $\lambda_{н} = \lambda_c - \lambda_g = 18 - 8 = 10$. Обратим внимание на то, что согласно (21) $\lambda_{н \min} = 3\delta + 1 = 7$, т.е. при создании кинематических цепей с двумя изменяемыми замкнутыми

контурами возможны четыре значения λ_n , а именно $\lambda_n = 10$, $\lambda_n = 9$, $\lambda_n = 8$ и $\lambda_n = 7$. При двух четырехугольных замкнутых контурах, т.е. при $\lambda_n = 10$ “расстояния” между выходами могут быть следующими: 7+3, 6+4, 5+5. Такие семизвенные цепи приведены на рис. 10.

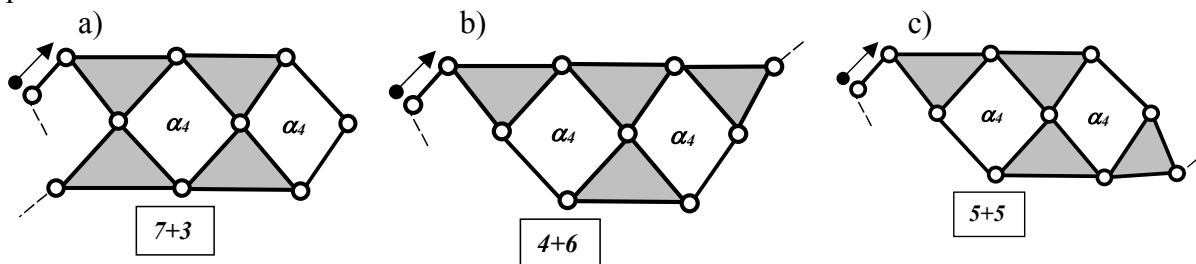


Рис. 10. Семизвенные кинематические цепи с двумя четырехугольными изменяемыми контурами

Из них могут быть созданы четыре механизма, приведенные в таблице 1 на позициях 34, 35, 36, 37. В зависимости от того, какому звену схемы (рис. 10, b) задать движение, можно получить два отличающихся по сложности механизма: с добавлением шестизвенной с двумя изменяемыми замкнутыми контурами группы (таблица 1, 35) или шестизвенной же, но с одним замкнутым изменяемым контуром (таблица 1, 36).

При значении $\lambda_n = 9$ возможно введение в цепь различных изменяемых замкнутых контуров, а именно α_4 и α_5 . Эти цепи могут быть построены с расстоянием между выходами 6 + 3 и 5 + 4. Все они показаны на рис. 11.

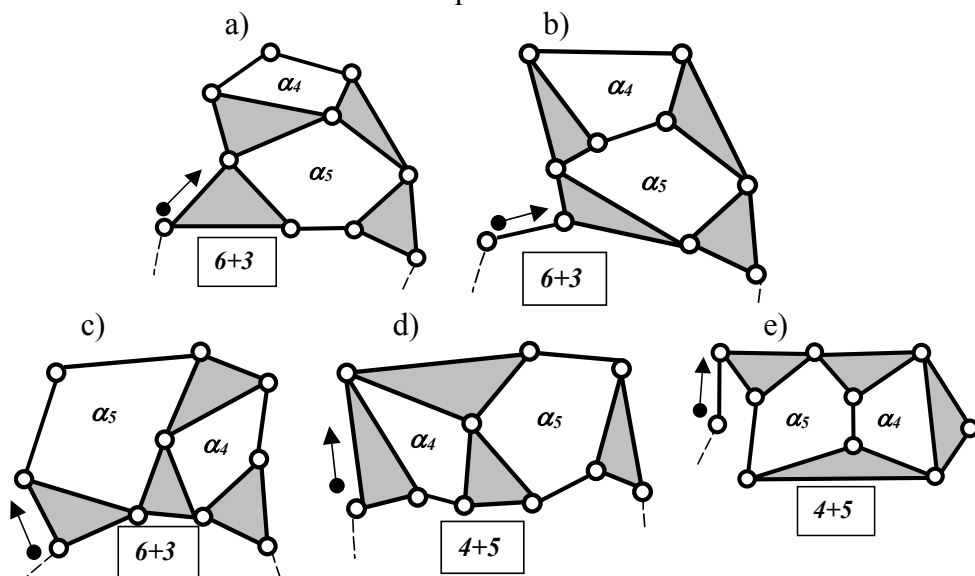


Рис. 11. Семизвенные кинематические цепи с двумя (α_4 и α_5) изменяемыми замкнутыми контурами

Таких цепей пять. Присоединяя цепи, содержащие изменяемые замкнутые контуры α_4 и α_5 (рис. 11), к стойке, можно получить пять же восьмизвенных механизмов. Они показаны в таблице 1, позиции 38, 39, 40, 41 и 42. При $\lambda_n = 8$ возможны варианты кинематических цепей с “расстояниями” между выходами 5 + 3 и 4 + 4 и с двумя замкнутыми контурами α_4 и α_6 или α_5 и α_5 . На рис. 12 приведены три кинематические цепи с контурами α_4 и α_6 , а на рис. 13 две цепи с контурами α_5 и α_5 .

Из трех кинематических цепей, приведенных на рис. 12, могут быть построены четыре отличающихся механизма, приведенные в таблице 1 на позициях 43, 44, 45 и 46. Отличие в схемах 45 и 46 существенное. В первом случае к ведущему звену добавляется шестизвенная группа Ассур с четырехугольным замкнутым изменяемым контуром, а во втором – шестизвенная же группа, но с шестиугольным изменяемым контуром. Два механизма построенные из цепей, приведенных на рис. 13, показаны в таблице 1 на позициях 47 и 48. Сложность их отличается также существенно. В первом из них к

ведущему звену добавляется нормальная четырехзвенная группа Ассур, а во втором ведущее звено связано с шестизвенной группой, содержащей пятиугольный замкнутый изменяемый контур.

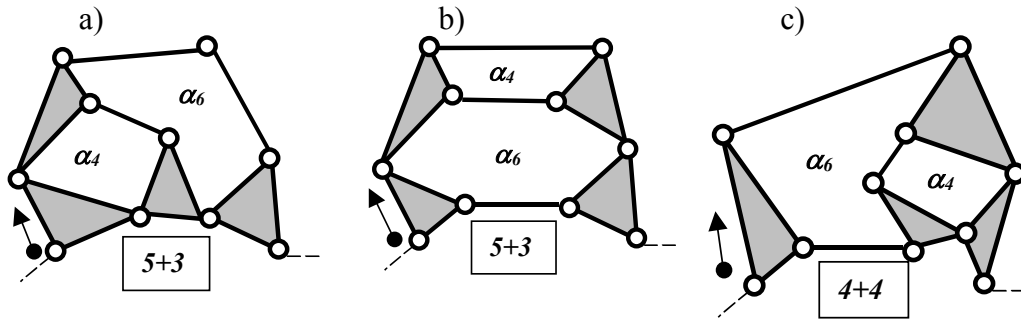


Рис. 12. Семизвенные кинематические цепи с изменяемыми замкнутыми контурами α_4 и α_6

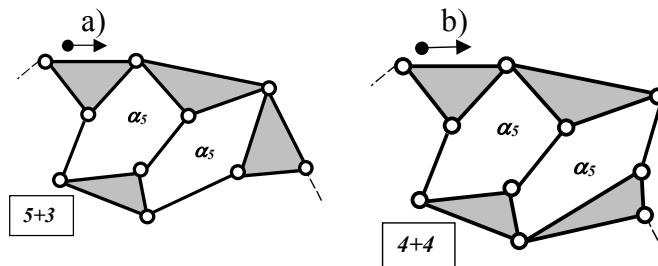


Рис. 13. Семизвенные кинематические цепи с двумя изменяемыми замкнутыми контурами α_5 и α_5

Последнее реальное значение $\lambda_n = 7$, реализуется “расстоянием” между выходами $4 + 3$ и цепь строится с двумя контурами α_5 и α_6 . Такая цепь имеет единственный вид, приведенный на рис. 14.

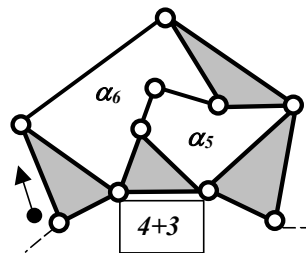


Рис. 14. Семизвенная кинематическая цепь с двумя изменяемыми замкнутыми контурами α_5 и α_6

Присоединяя свободными выходами эту цепь к стойке, можно построить единственный восьмизвенный механизм, приведенный в таблице 1, позиция 49, который при любом ведущем звене распадается на диады.

Таким образом, принимая в качестве базисного звена треугольное, нам удалось из 35 семизвенных кинематических цепей построить 49 схем восьмизвенных, отличающихся друг от друга механизмов.

Перейдем к базисному звену более сложному – четырехугольному, т.е. примем $\tau = 4$. Универсальная структурная система при этом получает вид

$$\begin{cases} p_5 = 4 + 3n_3 + 2n_2 + n_1, & (22.1) \\ n = 1 + n_3 + n_2 + n_1, & (22.2) \\ 1 = 3n - 2p_5. & (22.3) \end{cases}$$

Из (22.2) $n_1 = n - 1 - n_3 - n_2$. Подставив это значение в (22.1), получим

$$p_5 = 4 + 3n_3 + 2n_2 + n - 1 - n_3 - n_2 = 3 + 2n_3 + n_2 + n. \quad (23)$$

При условии, что $n = 7$, из (23) получим $p_5 = 10 + 2n_3 + n_2$, а из (22.3) $p_5 = 10$. Тогда, очевидным становится, что

$$2n_3 + n_2 = 0. \quad (24)$$

При целочисленных и положительных значениях чисел звеньев удовлетворить (24) можно при условии, что $n_3 = 0$ и $n_2 = 0$. Окончательно получим решение: $\tau = 4$, $n = 7$, $n_3 = n_2 = 0$, $n_1 = 6$, $p_5 = 10$, а γ по (13) получит значение $\gamma = 4$.

Построим прежде кинематические цепи без изменяемых замкнутых контуров, т.е. при условии, $\delta = \gamma = 4$. Они приведены на рис. 15. Таких схем всего три. Для них по (15) $\lambda_n = 16$. При этом суммы расстояний между выходами могут быть следующими $3+3+5+5$, $3+4+5+4$ и $4+4+4+4$.

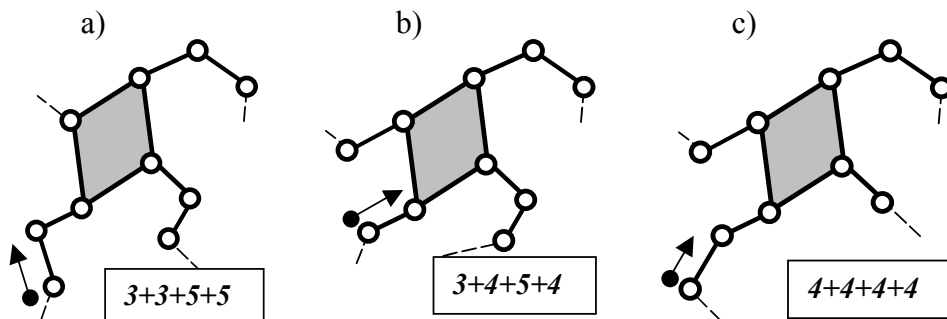


Рис. 15. Семизвенные кинематические цепи с $\tau = 4$ и без изменяемых замкнутых контуров

По схемам цепей (рис. 16) могут быть построены пять восьмизвенных механизмов, которые приведены в таблице 1 – на позициях 50, 51, 52, 53 и 54.

Уменьшим число выходов δ до 3. Для этого потребно введение одного изменяемого замкнутого контура. Все шесть кинематических цепей с четырехугольным замкнутым контуром α_4 приведены на рис. 16.

Для этих цепей по (16) и (17) $\lambda_n = 13$. Между тремя выходами эта цифра может быть представлена как $7 + 3 + 3$, $6 + 4 + 3$, $5 + 5 + 3$, $5 + 4 + 4$. “Расстояния” $6 + 4 + 3$ и $5 + 4 + 4$ реализованы в двух вариантах.

Используя кинематические цепи (рис. 16), можно построить одиннадцать восьмизвенных механизмов. Они приведены в таблице 1 на позициях с 55 по 65. При этом из цепей b), c) и d) (рис. 16) образуются по два отличающихся механизма, а из e) - три.

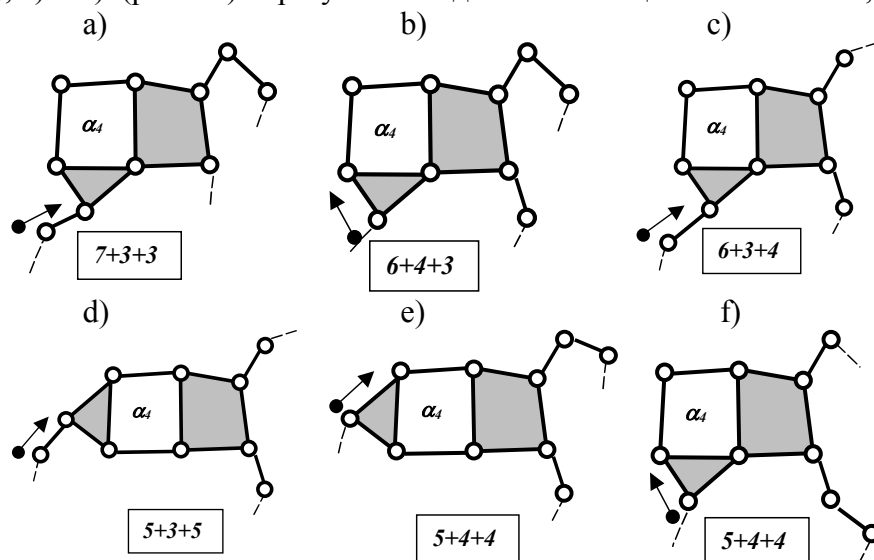


Рис. 16. Семизвенные кинематические цепи с $\tau = 4$ и одним четырехугольным изменяемым замкнутым контуром

С пятиугольным изменяемым контуром при $\lambda_n = 12$ можно построить лишь две кинематические цепи (рис. 17). Отличие их видно из рисунка. В таблице 1 на позициях 66, 67 и 68 приведены построенные по цепям (рис. 17) восьмизвенные механизмы, из цепи (рис. 17,b) – две и разного класса.

Из семи звеньев, одно из которых четырехугольное, построить шестизвенный замкнутый изменяемый контур невозможно.

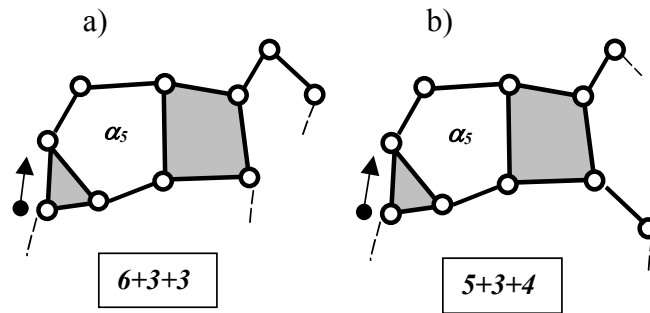


Рис. 17. Семизвенные кинематические цепи с $\tau = 4$ и одним пятиугольным изменяемым замкнутым контуром

Перейдем к цепям с двумя изменяемыми замкнутыми контурами, для которых по (14) $\delta = 2$. Начнем с простейших четырехугольных контуров. Таких цепей при $\lambda_H = 10$ с расстояниями между выходами 7+3, 6+4 и 5+5, можно построить пять. Все они приведены на рис. 18. Отметим, что при “расстоянии” между выходами 7+3 перестановкой поводков можно построить три отличающихся кинематические цепи.

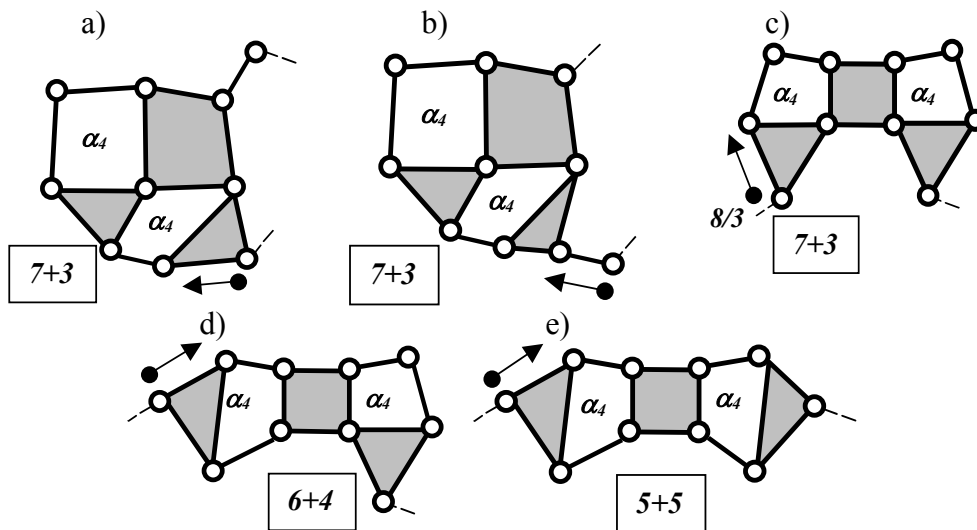


Рис. 18. Семизвенные кинематические цепи с двумя четырехугольными изменяемыми замкнутыми контурами

Лишь кинематическая цепь (рис. 18,d) может реализовываться двумя схемами механизмов с группами третьего и четвертого классов, остальные цепи реализуются единообразно. Все они приведены в таблице 1 на позициях 69, 70, 71, 72, 73, 74.

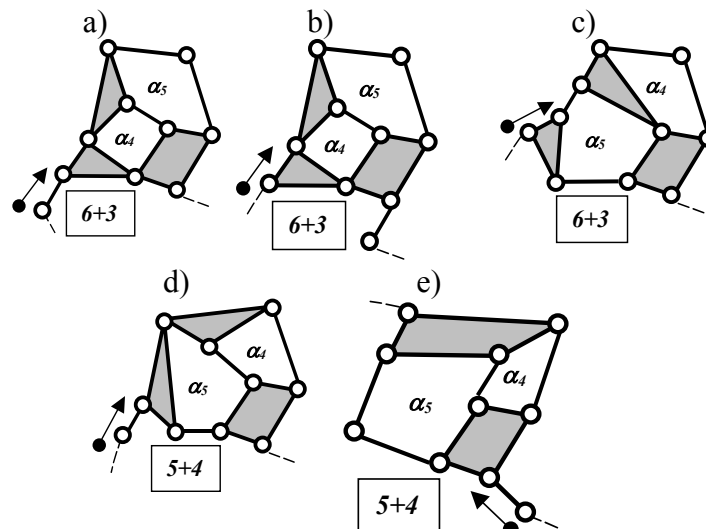


Рис. 19. Семизвенные кинематические цепи с двумя изменяемыми замкнутыми контурами: четырехугольным и пятиугольным

Усложним один из замкнутых контуров, сделав его пятиугольным, тогда при $\lambda_n = 9$ можно получить “расстояния” между выходами 6+3 и 5+4. И то, и другое “расстояния” реализуются не единственным образом. Путем переноса поводков можно построить три разные цепи (6+3) и две – (5+4). Они показаны на рис. 19.

Из этих пяти кинематических цепей построены семь восьмизвенных механизмов (из схем d) и e) – по два). Все они приведены в таблице 1 на позициях 75, 76, 77, 78, 79, 80 и 81.

Введем кроме четырехугольного дополнительно шестиугольный изменяемый замкнутый контур. Таких кинематических цепей из семи звеньев можно построить три. Они приведены на рис. 20. Для них общее число наружных сторон по (17) $\lambda_n = 8$. Эта цифра может быть представлена как 5+3, 3+5 и 4+4. Именно этим отличаются цепи, приведенные на рис. 20. По этим цепям построены и приведены в таблице 1 на позициях 82, 83, 84 и 85 четыре схемы восьмизвенных механизмов. Цепь (рис. 20,с) реализуется двумя схемами механизмов, отличающихся сложностью присоединенных к ведущему звену групп Ассура.

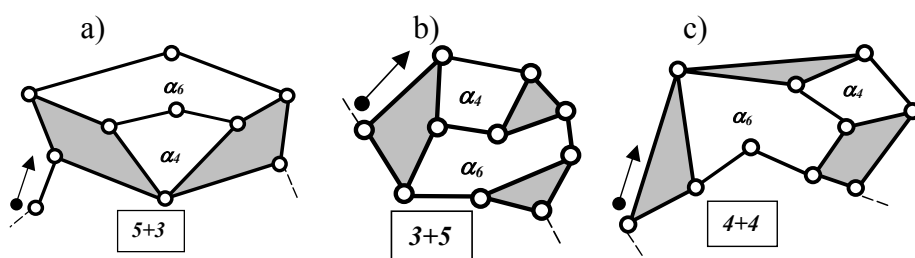


Рис. 20. Семизвенные кинематические цепи с двумя изменяемыми замкнутыми контурами α_4 и α_6

На рис. 21 приведена единственная кинематическая цепь с двумя изменяемыми замкнутыми контурами α_4 и α_7 .

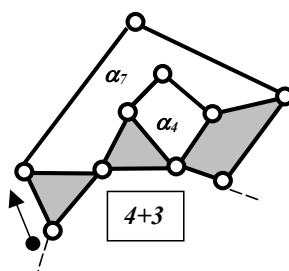


Рис. 21. Семизвенная кинематическая цепь с двумя изменяемыми замкнутыми контурами α_4 и α_7

“Расстояние” между выходами в ней $\lambda_n = 7$, оно представлено как 4+3. Из этой кинематической цепи может быть создан единственный восьмизвенный механизм, приведенный в таблице 1, позиция 86.

При значении числа наружных сторон семизвенной кинематической цепи $\lambda_n = 8$, помимо схем, приведенных на рисунке 20, могут быть построены и иные, а именно с включением в них одинаковых изменяемых замкнутых контуров α_5 . Таких цепей оказывается две (рис. 22) с “расстояниями” между выходами 5+3 и 4+4.

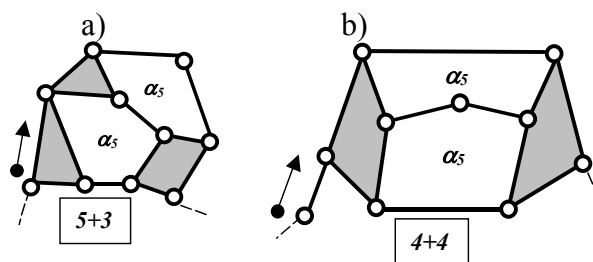


Рис. 22. Семизвенные кинематические цепи с двумя изменяемыми замкнутыми контурами α_5

По схеме кинематической цепи (рис. 22,а) строится один восьмизвенный механизм (таблица 1, позиция 87), а по схеме (рис. 22,б) – два механизма (таблица 1, позиции 88 и 89), отличающиеся сложностью присоединяемых к ведущему звену групп Ассура.

При минимально возможном числе наружных сторон ($\lambda_n = 7$) кроме цепи, показанной на рис. 21, можно построить еще одну, в состав которой будут входить иные по сложности изменяемые замкнутые контуры, а именно α_5 и α_6 . Такая кинематическая цепь приведена на рис. 23.

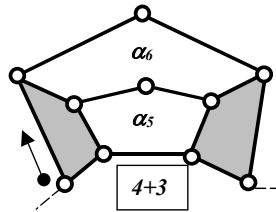


Рис. 23. Семизвенная кинематическая цепь с двумя изменяемыми замкнутыми контурами α_5 и α_6

Присоединяя эту цепь к стойке свободными выходами, можно получить единственный механизм (таблица 1, позиция 90). Этот механизм содержит в своем составе группы Ассура не сложнее диад.

Таким образом, нами построен полный состав восьмизвенных плоских механизмов ($W = 1$) с неподвижными кинематическими парами пятого класса p_5 .

Всего таких механизмов девяносто. Из них 49 механизмов содержат в качестве базисного звена – треугольное, а остальные 41 механизм строятся на четырехугольном базисном звене.

Из выполненного исследования на основании разработанного алгоритма поиска восьмизвенных механизмов можно заметить, что такие механизмы строятся путем:

1. последовательного присоединения диад;
2. параллельного присоединения диад;
3. последовательно-параллельного присоединения диад;
4. присоединением диад совместно с четырехзвенными группами Ассура разной сложности;
5. присоединением шестизвенных групп Ассура разной сложности.

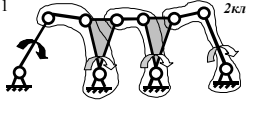
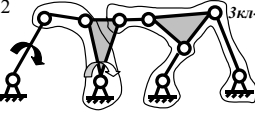
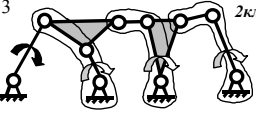
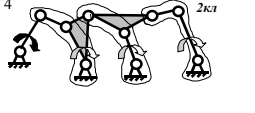
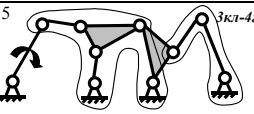
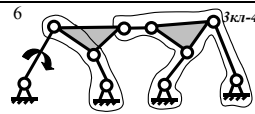
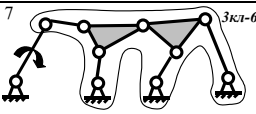
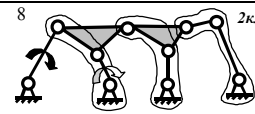
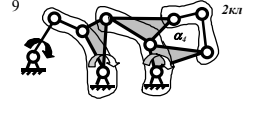
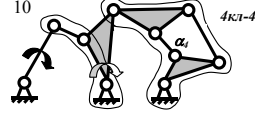
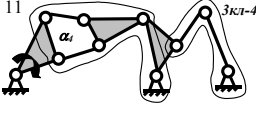
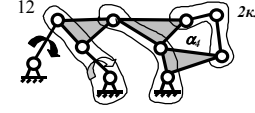
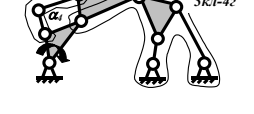
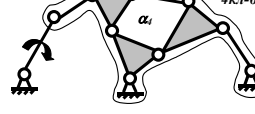

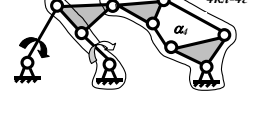

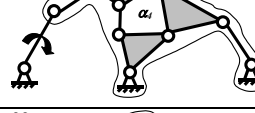
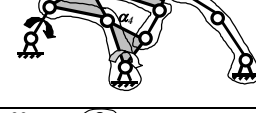
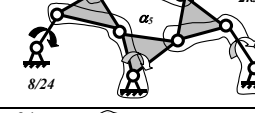
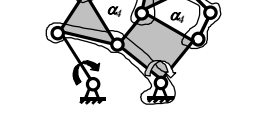
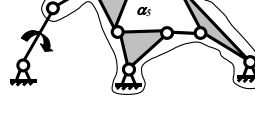
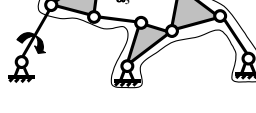
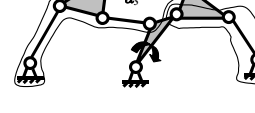
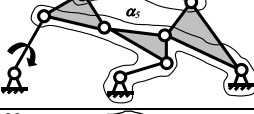
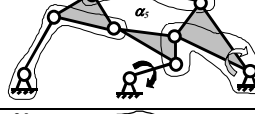
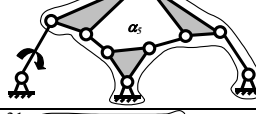
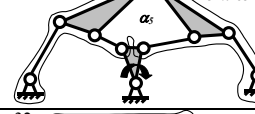

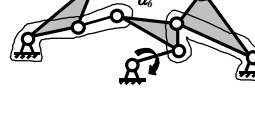

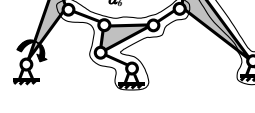
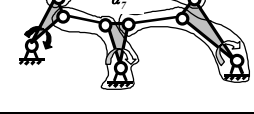
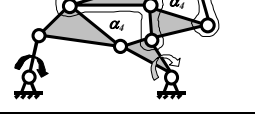
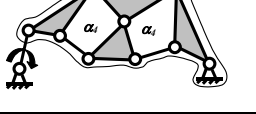
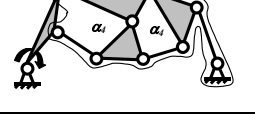
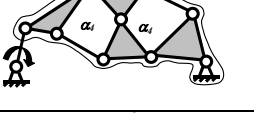
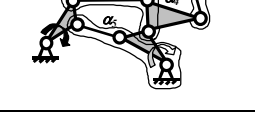
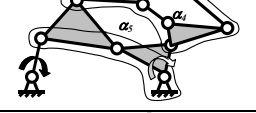
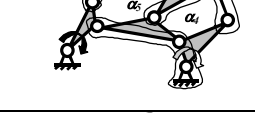
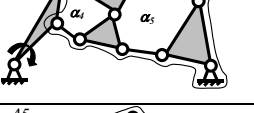
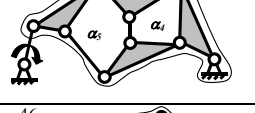
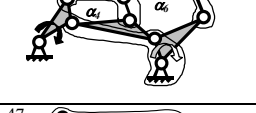
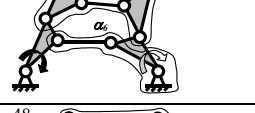
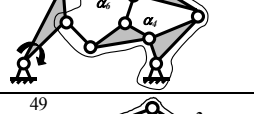
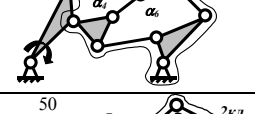
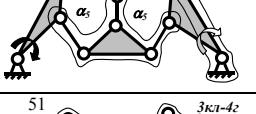
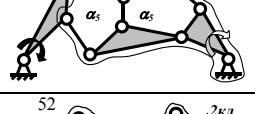
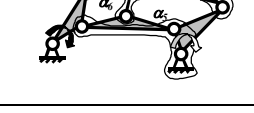
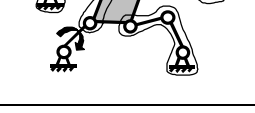
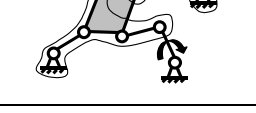
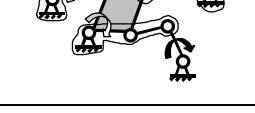
Под сложностью групп Ассура понимается число и сложность входящих в них изменяемых замкнутых контуров.

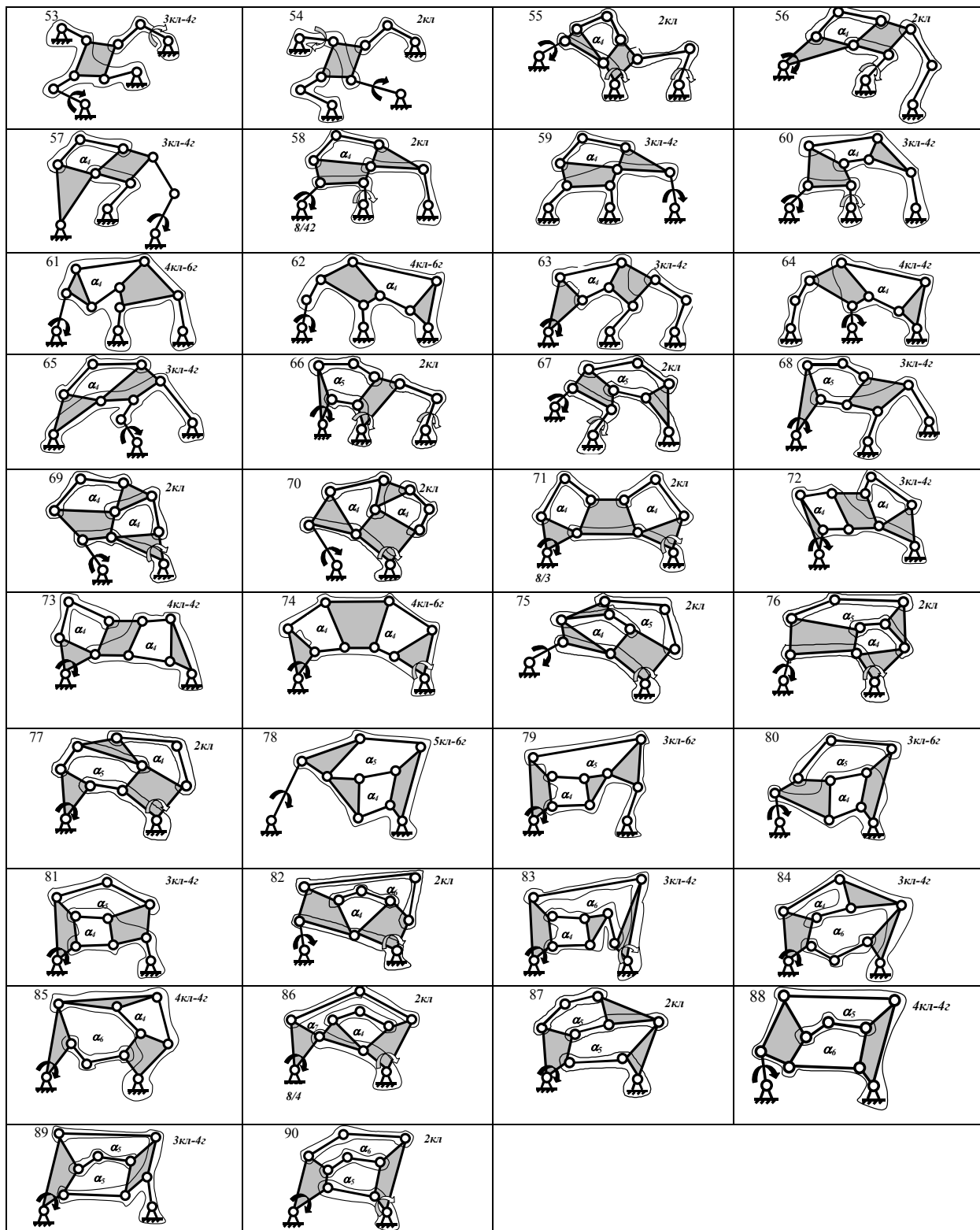
Разработанный в настоящей статье метод синтеза плоских шести- и восьмизвенников может быть использован для поиска всех десяти-, двенадцати и больших по числу звеньев механизмов.

Автор допускает возможность того, что не все реально существующие схемы восьмизвенников приведены в таблице 1. Однако, он берется утверждать, что пропуск каких-то из схем, во-первых, случаен, во-вторых, если имеет место, то является единственным, а в-третьих, он не может быть расценен, как исключение из обоснованного правила (метода) поиска структур механизмов.

Рассмотренный метод имеет четкую формализацию и может явиться основой создания развернутых компьютерных программ поиска структур любых по сложности механических систем.

Таблица 1. Полный состав восьмизвенных плоских рычажных механизмов

1  2кл	2  3кл-4з	3  2кл	4  2кл
5  3кл-4з	6  3кл-4з	7  3кл-6з	8  2кл
9  2кл	10  4кл-4з	11  3кл-4з	12  2кл
13  3кл-4з	14  4кл-6з	15  2кл	16  4кл-4з
17  3кл-6з	18  4кл-6з	19  2кл	20  2кл 8/24
70  2кл	22  5кл-6з	23  5кл-6з	24  3кл-4з
25  3кл-4з	26  2кл	27  5кл-6з	28  3кл-6з
29  2кл	30  2кл	31  6кл-6з	32  3кл-4з
33  2кл	34  2кл	35  4кл-6з	36  4кл-6з
37  4кл-6з	38  2кл	39  4кл-4з	40  2кл
41  5кл-6з	42  5кл-6з	43  2кл	44  4кл-4з
45  4кл-6з	46  6кл-6з	47  3кл-4з	48  5кл-6з
49  2кл	50  2кл	51  3кл-4з	52  2кл



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворников Л.Т. Основания к методам установления групп Ассур и исключение избыточных связей в них. Материалы второй научно-практической конференции по секции машиностроения и горных машин. Новокузнецк. 1991. с. 3-10.
2. Дворников Л.Т. Начала теории структуры механизмов. Учебное пособие. Новокузнецк, СибГГМА, 1994. – 102 с.

Поступила в редакцию 15.12.2003