УДК 621.01

Л.Т. ДВОРНИКОВ

ОСНОВЫ ВСЕОБЩЕЙ (УНИВЕРСАЛЬНОЙ) КЛАССИФИКАЦИИ МЕХАНИЗМОВ

В самом широком смысле под классификацией [1] понимают «систему соподчиненных понятий (классов, объектов) какой-либо области знаний, представляемую в виде схем (таблиц) и используемую как средство для установления связей между этими понятиями или классами объектов, а также для точной ориентировки в многообразии понятий или соответствующих объектов. Классификация служит средством хранения и поиска информации, содержащейся в ней самой». Считается очевидным, что «практическая необходимость в классификации стимулирует развитие теоретических аспектов науки или техники, а создание классификации является качественным скачком в развитии знания. Классификация, базирующаяся на глубоких научных основаниях, не только представляет собой в развернутом виде картину состояния науки (техники) или ее фрагмента, но и позволяет делать обоснованные прогнозы относительно неизвестных еще фактов или закономерностей».

С точки зрения изложенного, можно утверждать, что создание всеобщей (универсальной) классификации механизмов позволит не только максимально глубоко обобщить накопленные в теории знания, но и даст возможность сформулировать наиболее плодотворные направления в ее дальнейшем развитии. Под универсальной классификацией будем понимать такую классификацию, которая может претендовать на энциклопедичность, т.е. на ее использование в самом широком толковании понятия механизма, как «совокупности твердых тел, которые взаимным сцеплением и сопротивлением способны к сообщению, передаче и преобразованию движения» [2].

К классификации простых механизмов обращались Архимед, Витрувий, Я. Лейпольд [3]. Известны справочные труды по механизмам С.Н. Кожевникова [4], И.И. Артоболевского [5], А.Ф. Крайнева [6].

Однако первым, кто систематически обратился к классификации механизмов, был Л.В. Ассур. Его диссертация (13 февраля 1916 г.) и позже (1952 г.) изданная книга [7] в серии «Классики науки» так и назывались «Исследование плоских стержневых механизмов с низшими парами с точки зрения их структуры и классификации».

Свое стремление к созданию классификации механизмов Л.В. Ассур обосновал очень ёмко – «лишь та теория может с полным правом претендовать на научное значение, которая в состоянии указать пути практике; дело науки указать <u>все возможное</u>, дело практики <u>выбрать</u> из возможного практичное». Предлагаемые основы всеобщей (универсальной) классификации механизмов, по мнению автора, соответствует процитированному убеждению Л.В. Ассура.

Отметим, что все механизмы независимо от их назначения, сложности и размеров образуются лишь из звеньев (твердых тел) и соединений звеньев, которые в теории механизмов называют кинематическими парами. Если число звеньев обозначить параметром n, а число кинематических пар параметром p , то именно эти два параметра целиком и полностью определяют структуру механизма. Естественно, классификация механизмов должна быть начата с классификации звеньев и кинематических пар. С точки зрения того, что все звенья есть твердые тела они могут быть расклассифицированы лишь по сложности исполнения. Сложность их исполнения определяется числом кинематических пар, посредством которых они «сцепляются», взаимодействуют с другими звеньями. Что же касается кинематических пар, то это понятие значительно более сложное. Можно утверждать, что к настоящему времени классификация кинематических пар вполне разработана и эта классификация [10,11] может быть полностью использована как фрагмент общей классификации механизмов.

Перейдем собственно к проблеме классификации механизмов.

Прежде всего, сформулируем известные и доказанные принципы, которые могут быть положены в основу классификации.

1. Разработанный в начале XX века Л.В. Ассуром метод синтеза механизмов, основанный на утверждении, что любой механизм может быть структурно синтезирован путем наслоения на ведущее звено групп звеньев, обладающих нулевой подвижностью, вполне доказал себя применением в практике и может быть использован в основе классификации. Однако возможно существование и иных (неассуровых) механизмов.

2. Какие бы ни были сложные по структуре механизмы (по числу звеньев и видам кинематических пар), все они описываются универсальной структурной формулой В.В. Добровольского [8]:

$$W=(6-m)n-\sum(k-m)p_k \text{ , при } k-m>0, \tag{1}$$

где W – подвижность механизма, m – параметр Добровольского, означающий число общих связей, накладываемых на весь механизм в целом, $k=1, 2, 3, 4, 5$ - класс кинематических пар.

3. Универсальная структурная система [10]:

$$\begin{gathered} p=\tau+(\tau-1)n_{\tau-1}+\ldots+in_i+\ldots+2n_2+n_1, \\ n=1+n_{\tau-1}+\ldots+n_i+\ldots+n_2+n_1+n_0, \end{gathered} \tag{2}$$

где параметр τ есть число геометрических элементов наиболее сложного звена кинематической цепи, а n_i - число звеньев, добавляющих в цепь по i кинематических пар, с использованием формулы Добровольского (1) позволяет находить все возможные структуры механизмов (кинематических цепей) по четырем задаваемым независимым параметрам: τ, m, k и W.

4. Структурные схемы любых кинематических цепей являются инвариантными, т.е. они не зависят ни от системы отсчета, ни от размеров звеньев, ни от каких-либо физических условий.

5. Основываясь на категориях количества по И.Канту – «единство, множество, всеполнота», можно найти последовательно все многообразие схем механизмов и классифицировать их.

На основании изложенного, в настоящей статье обосновываются следующие необходимые, а по мнению автора, и достаточные критерии (уровни) классификации всего многообразия возможных структур механизмов (рис. 1).

Приступим к обоснованию уровней и подуровней структурной классификации механизмов.

1^0. Любой механизм может быть организован (создан) путем «наслоения» на ведущее звено групп звеньев, обладающих нулевой подвижностью, названных позже группами Ассура. При этом Ассур особо определил ведущее звено, которое им было названо «простым кривошипом», т.е. звеном, образующим с неподвижным звеном шарнир – одноподвижную кинематическую пару. Подвижность «простого шарнира» всегда равна единице. На этом основании можно утверждать, что ассуровы механизмы это такие, в которых входное звено образует со стойкой кинематическую пару, обеспечивающую этому звену единственную степень подвижности. Таковым может быть и «простой» ползун.

Естественно, альтернативой описанному способу построения кинематической цепи механизма является такой, при котором входное (ведущее) звено образует со стойкой более сложную кинематическую пару – двух, трех и т.д. подвижную. В принципе – до пятиподвижной. В этом случае, механизм нельзя образовать присоединением к ведущему звену групп Ассура. Присоединяемые группы звеньев должны обладать иными свойствами и к ним не может быть применен метод Ассура. Так, на рис. 2 показан пространственный трехзвенный механизм, в котором за ведущее звено принимается поршень 1 с уголковым шатуном.

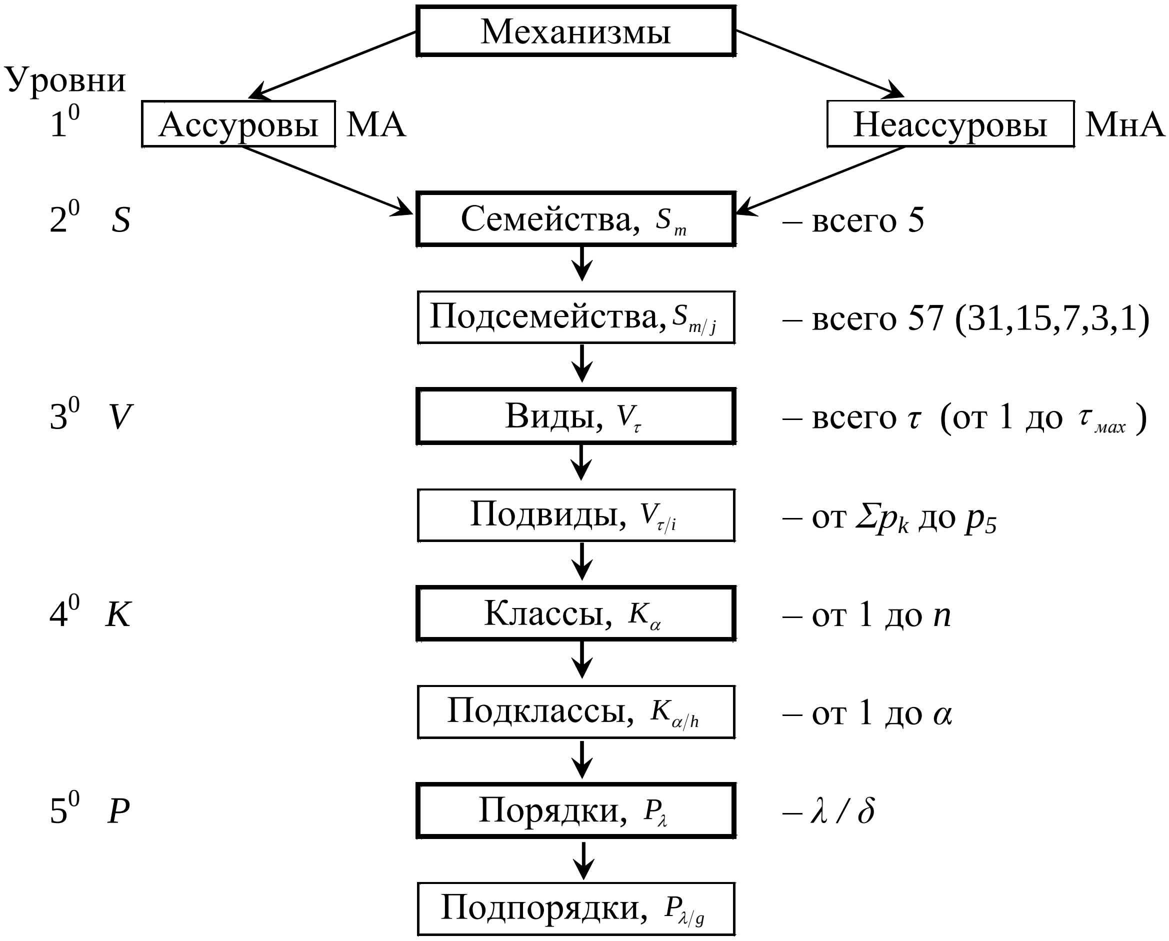

Рис. 1. Необходимые и достаточные критерии (уровни) классификации механизмов

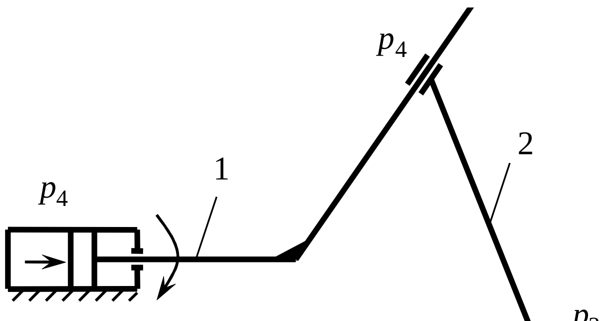

Рис. 2. Пространственный трехзвенный механизм

В этом случае, входная пара становится парой двухподвижной (p_4), т.е. обеспечивающей два относительных движения – поступательные вдоль оси цилиндра и вращательное вокруг той же оси. Второе - подвижное звено в этом механизме обладает подвижностью отличной от нуля, т.е. оно не является группой Ассура. Такого рода механизмы не могут быть отнесены к ассуровым. На этом основании становится необходимым введение нового понятия – понятия неассуровых механизмов и различать механизмы на ассуровы (А) и неассуровы (нА), это деление механизмов принимается за первый уровень общей классификации механизмов.

Формально, т.е. в количественном отношении, числа возможных неассуровых кинематических цепей при заданных условиях существенно превосходят числа структур ассуровых цепей.

2^0. В основу второго уровня классификации механизмов может быть положена приведенная выше универсальная структурная формула (1) Добровольского.

Согласно этой формуле механизмы могут существенно отличаться друг от друга.

Академик И.И. Артоболевский в 1939 [9] предложил классифицировать механизмы по параметру m Добровольского *на пять семейств*:

нулевое $(m=0)$ – $W_0 = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1$,
первое $(m=1)$ – $W_1 = 5n - 4p_5 - 3p_4 - 2p_3 - p_2$,
второе $(m=2)$ – $W_2 = 4n - 3p_5 - 2p_4 - p_3$,
третье $(m=3)$ – $W_3 = 3n - 2p_5 - p_4$,
четвертое $(m=4)$ – $W_4 = 2n - p_5$.

Автором настоящей работы было предложено внутри семейств в соответствии с составом используемых кинематических пар различных классов выделять отличающиеся друг от друга подсемейства.

В четвертом семействе механизмов имеется единственное подсемейство

$$W_{4(0)} = 2n - p_5 .$$

В третьем семействе – подсемейств три:

$$W_{3(0)} = 3n - 2p_5 - p_4,$$
$$W_{3(1)} = 3n - 2p_5,$$
$$W_{3(2)} = 3n - p_4,$$

и принципиальные отличия механизмов этих подсемейств очевидны.

Во втором семействе - подсемейств семь:

$$W_{2(0)} = 4n - 3p_5 - 2p_4 - p_3; \qquad W_{2(3)} = 4n - 3p_5,$$
$$W_{2(1)} = 4n - 3p_5 - 2p_4, \qquad W_{2(4)} = 4n - 2p_4 - p_3,$$
$$W_{2(2)} = 4n - 3p_5 - p_3, \qquad W_{2(5)} = 4n - 2p_4,$$
$$W_{2(6)} = 4n - p_3 .$$

В первом семействе их пятнадцать:

$$W_{1(0)} = 5n - 4p_5 - 3p_4 - 2p_3 - p_2, \qquad W_{1(7)} = 5n - 4p_5,$$
$$W_{1(1)} = 5n - 4p_5 - 3p_4 - 2p_3, \qquad W_{1(8)} = 5n - 3p_4 - 2p_3 - p_2,$$

$$W_{1(2)} = 5n - 4p_5 - 3p_4 - p_2, \qquad W_{1(9)} = 5n - 3p_4 - 2p_3,$$
$$W_{1(3)} = 5n - 4p_5 - 3p_4, \qquad W_{1(10)} = 5n - 3p_4 - p_2,$$
$$W_{1(4)} = 5n - 4p_5 - 2p_3 - p_2, \qquad W_{1(11)} = 5n - 3p_4,$$
$$W_{1(5)} = 5n - 4p_5 - 2p_3, \qquad W_{1(12)} = 5n - 2p_3 - p_2,$$
$$W_{1(6)} = 5n - 4p_5 - p_2, \qquad W_{1(13)} = 5n - 2p_3,$$
$$W_{1(14)} = 5n - 2p_2.$$

Аналогично могут быть найдены все подсемейства нулевого семейства. Их 37, а всего подсемейств 57. Таким образом, для исследования различных семейств и различных подсемейств механизмов должны использоваться отличающиеся структурные формулы.

Добавим еще, что из 57 подсемейств лишь в 31 подсемействе существуют ассуровы механизмы, в остальных 26 подсемействах могут быть реализованы лишь неассуровы механизмы. Обозначим критерий классификации механизмов по семействам как $S_{m/j}$, где m – параметр Добровольского, а j – номер подсемейства. Число подсемейств механизмов определяется зависимостью $j_m = 2^{(5-m)} - 1$.

3⁰. Внутри семейств и подсемейств механизмы могут различаться по сложности используемых в них звеньев и прежде всего по сложности наиболее сложного – базисного звена. Будем разделять по этому параметру все механизмы *на виды*. Используем для этого универсальную структурную систему (2), в которой задаваемым параметром является τ - число кинематических пар наиболее сложного звена. Параметр этот может изменяться от $\tau=1$ до некоторого τ_{max}. Вид механизмов будем определять числом τ, т.е. выделяя виды: первый ($\tau=1$), второй ($\tau=2$), третий ($\tau=3$) и так далее.

Первый вид механизмов согласно (2) описывается системой

$$\begin{cases} p_5 + p_4 + p_3 + p_2 + p_1 = 1, \\ n = 1, \end{cases} \qquad (3)$$

откуда следует, что

$$n_{\tau-1} + n_{\tau-2} + \ldots + n_i + \ldots + n_2 + n_1 + n_0 = 0,$$

или при целочисленных положительных решениях системы (2) неизбежно условие

$$n_{\tau-1} = n_{\tau-2} = n_i = \ldots = n_2 = n_1 = n_0 = 0.$$

С учетом отмеченного, решениями системы (3) будут

$$p_5 = 1, p_4 = 1, p_3 = 1, p_2 = 1 \text{ и } p_1 = 1,$$

которые описывают классы кинематических пар, от первого до пятого.

Число кинематических пар и число звеньев цепей второго вида ($\tau=2$) определится системой

$$\begin{cases} p = 2 + n_1, \\ n = 1 + n_1. \end{cases} \qquad (4)$$

Так как в этом случае могут входить в цепь кроме τ-угольника лишь звенья n_1, то второй вид будет содержать в своем составе всего один подвид во всех пяти семействах.

Третий вид механизмов ($\tau = 3$) описывается системой

$$\begin{cases} p = 3 + 2n_2 + n_1, \\ n = 1 + n_2 + n_1, \end{cases} \qquad (5)$$

откуда следует, что в состав механизмов третьего вида могут входить разные звенья, а именно n_1 и n_2. В связи с этим, третий вид механизмов может быть разделен на два подвида, в первом из которых будут использоваться лишь звенья n_1, а во втором n_1 и n_2.

Отметим, что без звеньев n_1 (добавляющих в цепь по одной кинематической паре) создавать кинематические цепи, удовлетворяющие условию механизма, т.е. условию $W = 1$, невозможно. Тогда, в соответствии с (5), могут быть выделены два подвида механизмов

$$p = 3 + 2n_2 + n_1,$$
$$p = 3 + n_1.$$

Четвертый вид механизмов ($\tau = 4$) описывается системой

$$\begin{cases} p = 4 + 3n_3 + 2n_2 + n_1, \\ n = 1 + n_3 + n_2 + n_1. \end{cases} \qquad (6)$$

Очевидными подвидами четвертого вида механизмов являются следующие четыре:

первый подвид $p = 4 + 3n_3 + 2n_2 + 1,$

второй подвид $p = 4 + 3n_3 + n_1,$

третий подвид $p = 4 + 2n_2 + n_1$

и четвертый подвид $p = 4 + n_1.$

Аналогично рассуждая, можно найти по уравнениям

$$\begin{cases} p = 5 + 4n_4 + 3n_3 + 2n_2 + n_1, \\ n = 1 + n_4 + n_3 + n_2 + n_1, \end{cases} \qquad (7)$$

все подвиды пятого вида механизмов. Их всего восемь

$$p = 5 + 4n_4 + 3n_3 + 2n_2 + n_1, \qquad p = 5 + 3n_3 + 2n_2 + n_1,$$
$$p = 5 + 4n_4 + 3n_3 + n_1, \qquad p = 5 + 3n_3 + n_1,$$
$$p = 5 + 4n_4 + 2n_2 + n_1, \qquad p = 5 + 2n_2 + n_1,$$
$$p = 5 + 4n_4 + n_1, \qquad p = 5 + n_1.$$

Число подвидов шестого вида механизмов ($\tau = 6$) – шестнадцать. В седьмом виде механизмов ($\tau = 7$) всего 32 подвида и их формулы на основании изложенного могут быть записаны без осложнений.

Виды и подвиды механизмов будем обозначать, как $V_{\tau/i}$, где τ определяет вид, а i – подвид механизма. Число подвидов механизмов при $\tau \geq 2$ определяется зависимостью $i_\tau = 2^{(\tau-2)}$.

Из изложенного следует, что все семейства и подсемейства механизмов после их выбора должны быть идентифицированы по видам и подвидам.

4^0. Исторически сложилось так, что первыми в технике стали применяться плоские рычажные и зубчатые механизмы. Какие-либо общие свойства между этими механизмами не просматривались и, естественно, их изучение происходило независимо. Описанные выше понятия семейств и видов механизмов применительно к рычажным и зубчатым механизмам не использовались за их практической ненадобностью. Стремление ученых найти классификационные критерии к рычажным и зубчатым механизмам привело к появлению понятия классов механизмов. Л.В. Ассур в [7] записал «…условимся называть механизмами первого класса все механизмы, которые могут рассматриваться как полученные из простого кривошипа, посредством последовательного прикрепления одних только простых, открытых многоповодковых цепей нормального типа». Под простой цепью нормального типа Ассур понимал цепь, не содержащую замкнутых изменяемых контуров и заканчивающуюся свободными поводками.

Позже – в 1936-39 гг. И.И. Артоболевским было развито понятие классов на цепи, внутри которых появляются подвижные замкнутые изменяемые контуры. Для рычажных цепей простейшим изменяемым контуром является четырехсторонний или четырехугольный контур, как α_4 в механизме, показанном на рис. 3.

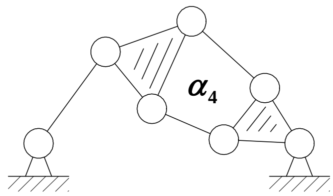

Рис. 3. Плоский механизм с четырехугольным замкнутым изменяемым контуром

Цепи с контурами от четырехугольного и выше, были отнесены Артоболевским к цепям высоких классов – соответственно 4-го, 5-го и т.д.

На этом основании введем в качестве следующего – четвертого уровня классификации понятие *классов* механизмов, определяющееся сложностью используемых замкнутых изменяемых контуров.

За первый класс механизмов примем такие, которые были отнесены к первому классу Ассуром, т.е. механизмы без изменяемых замкнутых контуров. Учитывая идею Артоболевского, ко второму классу отнесем такие цепи, в которых наличествует двухсторонний изменяемый контур, к третьему классу – цепи с трехсторонним (треугольным) изменяемым контуром и т.д. И двухсторонний, и трехсторонний контуры вполне реальны, если рассматривать всё многообразие механизмов, включая плоские, в которых используются высшие (точечные) кинематические пары, в том числе четвертого класса p_4. На рис. 4 показан плоский кулачковый четырехзвенный механизм, в котором звеньями 1 и 2 образуется двухсторонний замкнутый изменяемый контур между точками *A* и *B*.

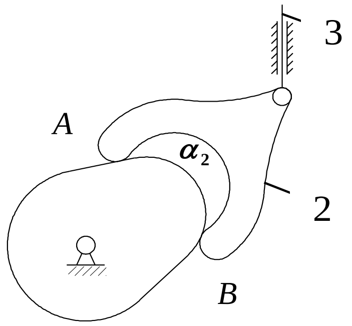

Рис. 4. Кулачковый механизм с двухсторонним изменяемым замкнутым контуром

Чтобы подойти вполне системно и убедительно к обоснованию четвертого уровня классификации механизмов по числу и сложности используемых в цепи изменяемых замкнутых контуров, обратимся к теории кинематических цепей [10], связанной с изменяемыми замкнутыми контурами.

Известно, что любая кинематическая цепь при ее образовании ветвится. Число ее ветвей γ определяется с одной стороны – числами звеньев цепи n и кинематических пар p как

$$\gamma = p-(n-1), \tag{8}$$

а с другой стороны – числом выходов цепи δ (свободных кинематических пар или соединений со стойкой) и числом замкнутых изменяемых контуров в ней α, т.е. как

$$\gamma = \delta + \alpha. \tag{9}$$

Приравняв правые части (8) и (9), получим

$$\alpha = p-(n-1)-\delta. \tag{10}$$

При отсутствии α, т.е. в цепях первого класса, число выходов цепи

$$\delta = \gamma = p-(n-1).$$

При известных τ (вид механизма) и n_i (подвид механизма) по (8) можно определить γ и тогда из (9) – α. Число выходов цепи может изменяться в диапазоне от γ до 2. При $\delta = \gamma - 1$, $\alpha = 1$. Этот контур может быть организован числом звеньев от двух до n. Наиболее сложный контур в механизме определяет его класс – от второго до n-ного.

При числе контуров более одного, появляются подклассы механизмов. Два контура определяют второй подкласс, три контура – третий подкласс и т.д. до $\gamma - \delta_{\min}$, т.е. до $\gamma - 2$ подкласса. Внутри подклассов могут выделяться подподклассы, определяемые составом замкнутых изменяемых контуров.

Так, в цепи третьего семейства, первого подсемейства, описываемого формулой

$$W_{3(1)} = 3n - 2p_5,$$

при создании групп Ассура ($W_{3(1)} = 0$) из восьми звеньев ($n = 8$ и $p_5 = 12$), число ветвей цепи $\gamma = 5$. В таких цепях не могут существовать контуры второго и третьего классов. Простейшим контуром для этого случая (рис. 5, *a*) является четырехугольный – α_4, т.е. можно создать цепь четвертого класса (рис. 5, *a*). Возможны построения восьмизвенных цепей также в виде цепей пятого (α_5), шестого (α_6), седьмого (α_7) и восьмого (α_8) классов. Последний случай изображен на рис. 5, *b*.

В показанных цепях при $\alpha = 1$ число выходов $\gamma - \alpha = 4$. При заданном $\delta = 3$ могут быть построены цепи с двумя замкнутыми контурами $\alpha_4 + \alpha_4$ (рис. 5, *c*) и $\alpha_5 + \alpha_4$ (рис. 5, *d*). В первом случае получается цепь четвертого класса второго подкласса, во втором случае это цепь пятого класса второго подкласса. В цепи 5, *e* три изменяемых контура. Эта цепь четвертого класса, третьего подкласса.

Понятие подподклассов определяет сложность дополнительных контуров кроме основного – наиболее сложного. Классы механизмов будем обозначать как $K_{\alpha/h}$, так цепь на рис. 5, *e* может быть обозначена как $K_{4/3}$.

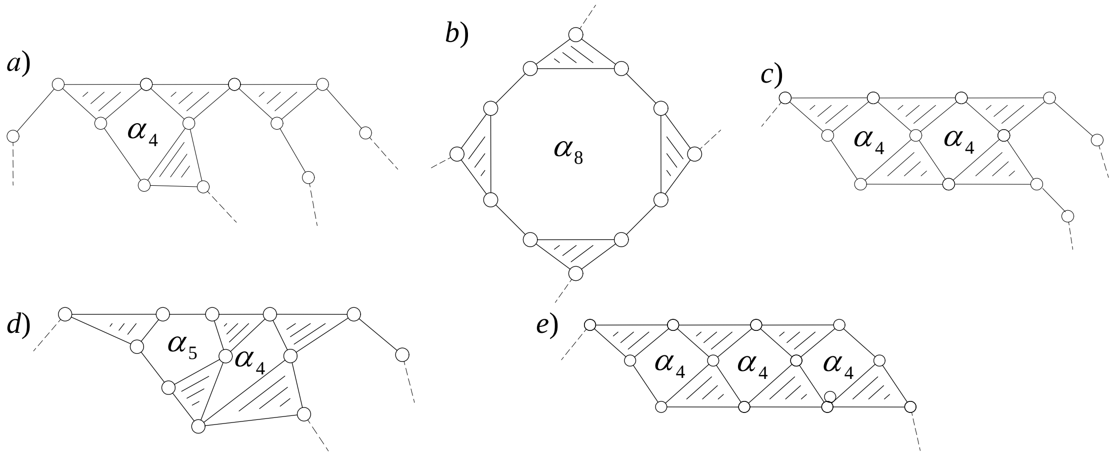

Рис. 5. Классы и подклассы кинематических цепей

5^0. Перейдем к пятому уровню классификации механизмов.

Механизмы одинаковых семейств, видов и классов могут существенно различаться в зависимости от принятых в них дистанций, т.е. чисел сторон звеньев между выходами. В соответствии с этим введем деление механизмов *на порядки*, определяемые числами сторон звеньев цепи между выходами. У однопарного звена (рис. 6, *a*) между кинематическими парами всего одна сторона *AA*, у двухпарного – две: *AB* и *BA* (рис. 6, *b*), у трехпарного – три: *AB, BC* и *CA* (рис. 6, *c*) и т.д. В кинематической цепи, показанной на рис. 6, *d*, одиннадцать сторон.

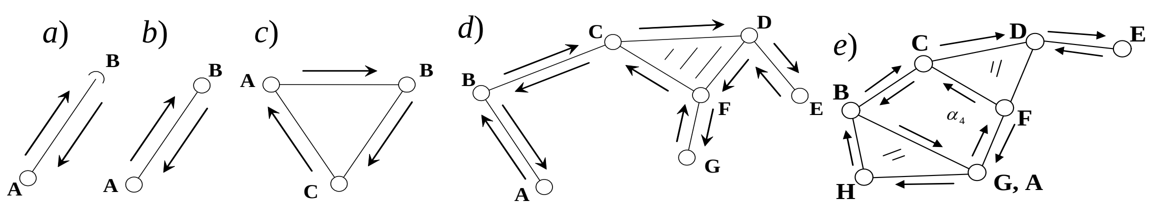

Рис. 6. Число сторон звеньев кинематической цепи

Общее число сторон λ цепи определится зависимостью

$$\lambda = \tau + \sum_{\tau}^{2} i n_{i-1} . \tag{11}$$

Чтобы число кинематических пар и число звеньев в цепи (рис. 6, *d*) при образовании замкнутого изменяемого контура *BCFG* (рис. 6, *e*) не изменилось, необходимо, объединяя открытые пары *A* и *G* в одну, добавить свободную пару *H* (рис. 6, *e*). Таким образом, появление замкнутого контура α_4, в этом случае, приводит к увеличению числа сторон цепи на единицу (*GH*). Если контуров вводится α штук, то суммарное число сторон цепи λ_c становится равным

$$\lambda_c = \lambda + \alpha .$$

При этом появляются наружные $\lambda_н$ и внутренние $\lambda_в$ стороны цепи. Внутренние – внутри замкнутых изменяемых контуров. Суммарное число сторон тогда будет

$$\lambda_c = \lambda_н + \lambda_в .$$

Число внутренних сторон звеньев цепи находится по известным замкнутым контурам, как

$$\lambda_в = \sum_{i_{\min}}^{i_{\max}} i \alpha_i ,$$

и тогда

$$\lambda_н = \lambda_c - \lambda_в . \tag{12}$$

Далее, при известном числе выходов цепи δ, можно распределить число $\lambda_н$ – наружных ее сторон между выходами, т.е. решить задачу о $\lambda_н / \delta$. Это решение многовариантно, а потому возможные отличающиеся варианты механизмов по этому параметру, предлагается различать по их порядкам.

Так, среди плоских цепей третьего семейства ($m = 3$), третьего вида ($\tau = 3$), четвертого класса (α_4), второго подкласса ($\alpha_4 = 2$) можно найти кинематические цепи, например с $n = 7$, в которых $\lambda_н$ равно 10. Полученное число может быть разбито между двумя выходами как 3+7, 4+6 и 5+5. Эти сочетания и определят порядки механизмов, а именно:

3+7 – первого порядка; 4+6 – второго порядка; 5+5 – третьего порядка.

Не каждый порядок в конкретном случае может быть реализован. В приведенном примере реализуемы второй и третий порядки (рис. 7).

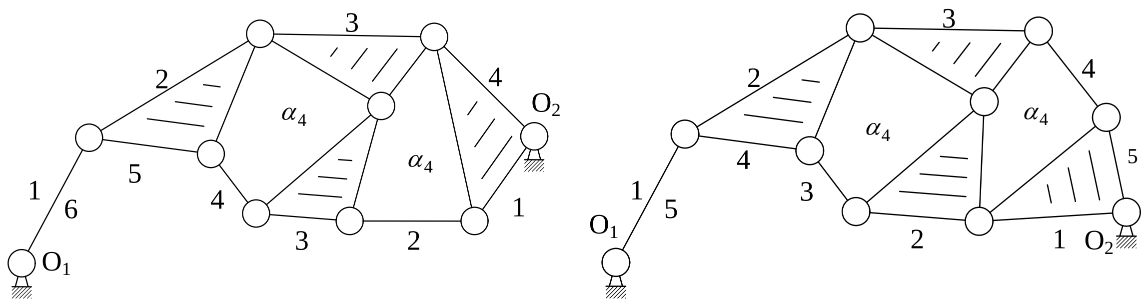

Рис. 7. Отличие механизмов по порядкам

Эти механизмы могут быть различены лишь по их порядкам. В первом это 4+6, во втором 5+5 при обходе их по часовой стрелке от O_1 к O_2 и от O_2 к O_1.

При увеличении числа выходов от 2 до γ общее число $\lambda_н$ может делиться на число дистанций так, что внутри порядка разделения могут появиться различия последовательности чисел сторон, которые следует учитывать путем введения понятий подпорядков и даже подподпорядков.

Итак, все механизмы в их полном многообразии вне зависимости от функционального назначения могут делиться на ассуровы (А) и неассуровы (нА) и далее классифицироваться по

семействам, $S_{m/j}$;

видам, $V_{\tau/i}$;

классам, $K_{\alpha/h}$;

и порядкам, $P_{\lambda/g}$.

Каждый структурно возможный механизм может быть описан формулой ($S_{m/j}\ V_{\tau/i}\ K_{\alpha/h}\ P_{\lambda/g}$).

Приведенные в настоящей статье аналитические зависимости, определяющие уровни классификации механизмов, достаточно хорошо проверены на многих частных примерах и дальнейшее совершенствование подходов и развитие предлагаемой классификации позволит решить одну из важнейших задач в теории механизмов и машин. В соответствие с приведенной классификацией могут быть разработаны методы кинематического и динамического исследования механизмов по семействам, видам, классам и порядкам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большая советская энциклопедия. Том 12, Третье издание. – М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1973.
2. **Брокгауз Ф.А., Ефрон И.А.** Малый энциклопедический словарь. М.: «Терра» - «TERRA», 1994, Том 3. С. 557.
3. **Leupold J.** Theatrum machinarum. Leipzig, 1724. Bd. 1.
4. **Кожевников С.Н.** и др. Механизмы. Издание третье. – М.: «Машиностроение», 1965. – 1058 с.
5. **Артоболевский И.И.** Механизмы в современной технике. Тома 1-7. Изд. «Наука», 1970-1978 гг.
6. **Крайнев А.Ф.** Механика машин. Фундаментальный словарь. М. Машиностроение, 2000. – 904 с., ил.
7. **Ассур Л.В.** Исследование плоских стержневых механизмов с низшими параметрами с точки зрения их структуры и классификации. – М.: Изд-во АН СССР, 1952.-529 с.

8. **Добровольский В.В.** Основные принципы рациональной классификации механизмов. В кн. Добровольский В.В., Артоболевский И.И. Структура и классификация механизмов. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1939. – С. 5-48.
9. **Артоболевский И.И.** Опыт структурного анализа механизмов. В кн. Добровольский В.В., Артоболевский И.И. Структура и классификация механизмов. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1939. – С. 49-66.
10. **Дворников Л.Т.** Начала теории структуры механизмов. – Новокузнецк, 1994, - с. 102.
11. **Дворников Л.Т., Живаго Э.Я.** Основы теории кинематических пар. Новокузнецк, 1999. – 105 с.

Поступила в редакцию 01.09.2011