ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտություններ սերիա XXV № 3, 1972 Серия технических наук

МАШИНОСТРОЕНИЕ

К. М. ЕГИШЯН, Ю. Л. САРКИСЯН

СТЕРЖНЕВЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ СЛОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

В работе излагается общий способ образования кинематических схем механизмов, воспроизводящих сложное движение объекта. Приводятся также основные схемы пространственных и плоских стержневых механизмов, осуществляющих криволинейно-поступательное движение объекта. Далее описываются некоторые современные применения исследуемых механизмов. Рассматриваемые механизмы, управляющие перемещением объекта, коротко будут названы *перемещающими*.

§ 1. Структурный синтез перемещающих механизмов

Чтобы управлять посредством стержневых механизмов перемещением объекта (ведомого шатуна) в пространстве, необходимо найти такие точки или линии его, различные положения которых удовлетворяют условиям связи присоединенных к объекту звеньев и кинематических цепей. Звено, входящее в кинематические пары с объектом и стойкой, назовем *двухпарным звеном*.

Различные типы кинематических цепей и двухпарных звеньев накладывают разные условия связи на движение объекта. Ниже для простоты будут рассмотрены только такие механизмы, в которых каждое условие связи осуществляется посредством двухпарного звена.

Различным сочетанием низших кинематических пар, а именно: вращательных, поступательных, цилиндрических, сферических и сферических с пальцем и прорезью, соответствуют тринадцать видов двухпарных звеньев, схемы которых сведены в табл. 1. Все двухпарные звенья подразделены на четыре рода в зависимости от числа условий связи, налагаемыми ими. В табл. 1 приводятся аналитические выражения условий связи, представляющие собой уравнения определенных геометрических мест точек или прямых объекта в неподвижной системе координат. Ниже излагаются определения условий связи для рассматриваемых двухпарных звеньев.

Если звено с двумя сферическими парами удерживает точку B объекта на поверхности сферы с центром в неподвижной точке A, то звено с цилиндрической и сферической парами обеспечивает движение

Таблица 1

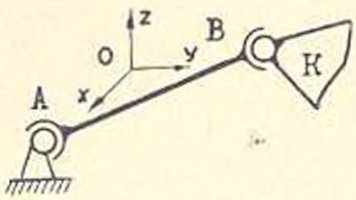
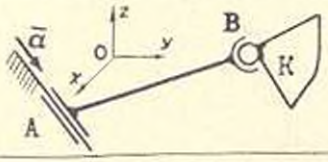
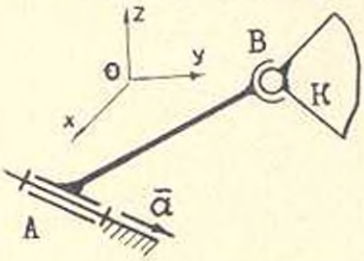
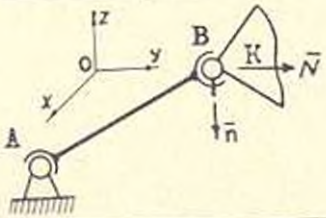
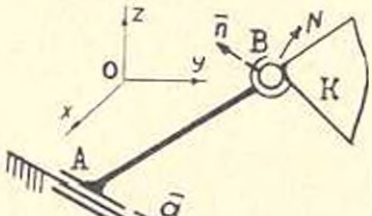
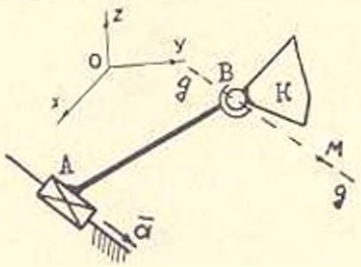
Вид	Род	Условные обозначения	Выражения условий связи
1	2	3	4
1	I		1) $\lvert\bar{r}_B - \bar{r}_A\rvert = l_{AB} = \text{const}$. (1)
2			1) $\dfrac{\lvert\bar{a} \times (\bar{r}_B - \bar{r}_A)\rvert}{\lvert\bar{a}\rvert} = d = \text{const}$. (2) где d—расст. точки B от оси A; $\bar{a}$—направл. вектор оси A.
3			1) см. (1); 2) $\bar{a} \cdot (\bar{r}_B - \bar{r}_A) = \text{const}$. (3)
4			1) см. (1); 2) $\bar{n} \cdot \bar{N} = 0$, (4) где $\bar{n}$ и $\bar{N}$—направл. векторы оси пальца и нормали к плоскости прорези.
5	II		1) см. (2); 2) см. (4).
6			1) $\lvert\bar{r}_B - \bar{r}_M\rvert = t \cdot \bar{a}$, (5) где M—точка пересечения траектории точки B g-g с плоскостью xOy; t-скалярная переменная величина.

Таблица 1 (продолжение)

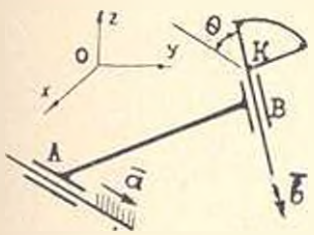
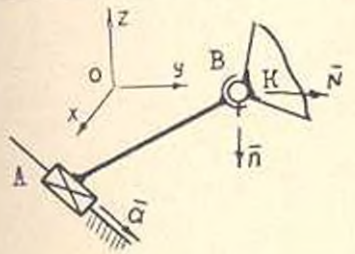
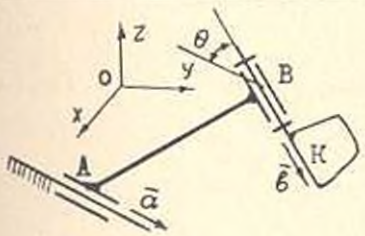
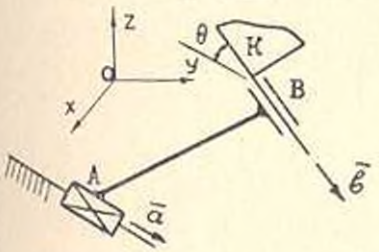
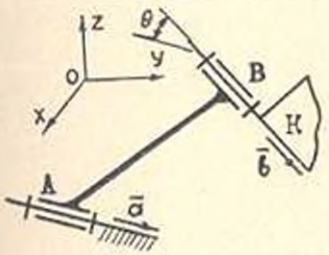
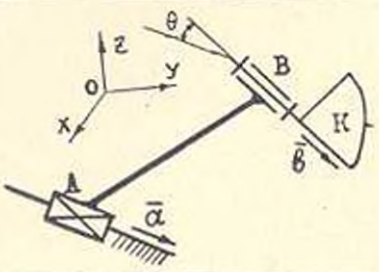
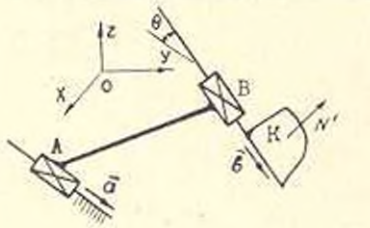
1	2	3	4
7	II		1) $\frac{\bar{a}\cdot\bar{b}}{\lvert\bar{a}\rvert\cdot\lvert\bar{b}\rvert}=\cos\theta=\text{const}$; (6) 2) $\frac{\lvert(\bar{r}_B-\bar{r}_A)ab\rvert}{\lvert\bar{a}\cdot\bar{b}\rvert}=d=\text{const}$, (7) где d-кратчайшее расстояние между осями A и B.
8	III		1) 2) см. (5); 3) см. (4).
9	III		1) см. (6); 2) см. (7); 3) $[(\bar{r}_B-\bar{r}_A)\times\bar{a}]\cdot(\bar{a}\times\bar{b})=\text{const}$. (8)
10	III		1) см. (6); 2) см. (7); 3) $(\bar{r}-\bar{r}_B)(\bar{a}\times\bar{b})=0$, (9) где $\bar{r}$ – радиус-вектор произвольной точки плоскости движения оси B.
11	IV		1) см. (6); 2) см. (7); 3) $(\bar{r}_B-\bar{r}_A)\cdot\bar{a}=\text{const}$; (10) 4) $(\bar{r}_B-\bar{r}_A)\cdot\bar{b}=\text{const}$. (11)

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4
12	IV		1) см. (6); 2) см. (7); 3) } 4) } см. (5).
13			1) см. (6); 2) см. (7); 3) см. (9); 4) $\bar{N}' \cdot \bar{a}$ — const, (12) где $\bar{N}'$ — нормаль к произвольной плоскости K объекта.

точки B объекта по поверхности цилиндра, ось которого совпадает с осью цилиндрической пары A.

Звено с вращательной и сферической парами обеспечивает движение точки B объекта по окружности, представляющей собой линию пересечения сферы радиуса AB и плоскости, проходящей через точку B и перпендикулярной оси вращательной пары A.

Все двухпарные звенья, содержащие сферическую пару с пальцем (см. виды *4*, *5*, *8*), накладывают одно дополнительное условие связи, а именно: одна из прямых на объекте, проходящая через центр сферы (ось пальца), при движении должна оставаться в плоскости прорези.

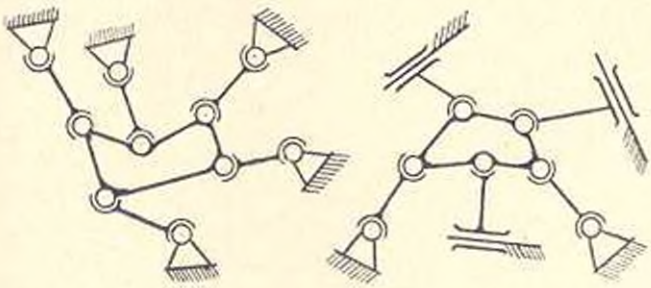
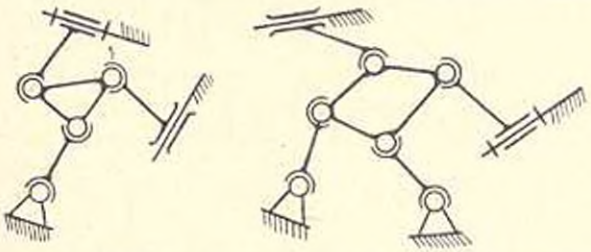
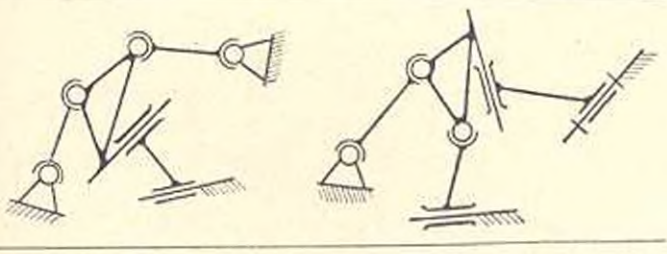
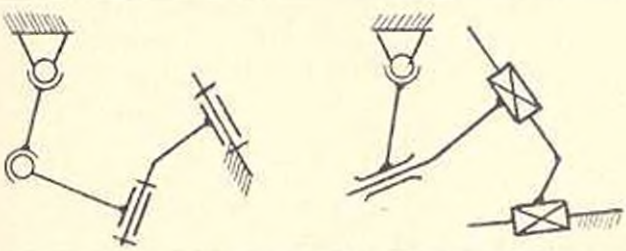
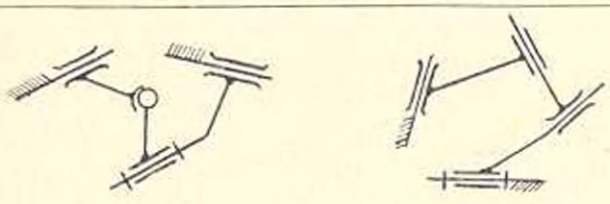
Звено с поступательной и сферической парами обуславливает движение точки B объекта по прямой, параллельной оси поступательной пары A.

Звено с двумя цилиндрическими парами обеспечивает постоянство угла и расстояния между осями кинематических пар A и B. Двухпарные звенья остальных пяти видов можно рассматривать как звено с двумя цилиндрическими парами, в которых дополнительно исключены те или другие движения объекта. Так, например, звено с цилиндрической и вращательной парами исключает движение вдоль неподвижной оси.

При звене с поступательной и цилиндрической парами исключена возможность поворота вокруг неподвижной оси. Следовательно, геометрическое место возможных положений оси цилиндрической пары B представляет собой плоскость, параллельную оси поступательной пары A.

Звено с двумя вращательными парами не допускает поступательные движения вдоль осей кинематических пар A и B, а звено с двумя поступательными парами — вращательные движения вокруг этих осей.

Таблица 2

Подгруппа	Состав механизмов	Кинематические схемы перемещающих механизмов
I	$S_1=5$	
II	$S_1=1$ $S_2=2$ или $S_1=3$ $S_2=1$	
III	$S_1=2$ $S_3=1$	
IV	$S_3=1$ $S_4=1$	
V	$S_2=1$ $S_3=1$	

Наконец, при звене с поступательной и вращательной парами не представляется возможным вращательное движение относительно оси B объекта.

Следует отметить, что подобные выражения условий связи двухпарных звеньев и кинематических цепей получены Россом и Ченом [1]. Эти уравнения ими использованы для проектирования пространственных механизмов.

Непосредственная задача структурного синтеза перемещающих механизмов, очевидно, состоит в образовании их структурных схем путем присоединения к свободному объекту определенной совокупности двухпарных звеньев. Числа двухпарных звеньев, входящих в состав искомого одноподвижного механизма, должны удовлетворять следующему равенству:

$$1 - 6 - 1S_1 - 2S_2 - 3S_3 - 4S_4 = 6 - \sum_{k=1}^{4} kS_k, \qquad (1)$$

где S_k — число двухпарных звеньев k-го рода.

Равенство (1) можно привести к виду

$$5 = S_1 + 2S_2 + 3S_3 + 4S_4 = \sum_{k=1}^{4} kS_k. \qquad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что наибольшее число двухпарных звеньев в составе перемещающих механизмов равно пяти и соответствует оно случаю соединения двухпарных звеньев только первого рода. Максимальные числа двухпарных звеньев второго, третьего и четвертого родов равны: $S_{2\max} = 2$, $S_{3\max} = S_{4\max} = 1$.

Варьируя числами двухпарных звеньев, в соответствии с (2) можно получить все возможные схемы перемещающих механизмов. В зависимости от того, какие двухпарные звенья входят в состав перемещающих механизмов, последние разделены на пять подгрупп (табл. 2).

В первую подгруппу вошли механизмы с двухпарными звеньями только первого рода, при разных сочетаниях которых получаются шесть различных схем*. Во вторую подгруппу вошли 45 механизмов, образованные двухпарными звеньями первого и второго родов. Механизмы третьей подгруппы состоят из двухпарных звеньев первого и третьего родов (9 механизмов). В четвертую подгруппу вошли 15 механизмов, содержащие двухпарные звенья второго и третьего родов. Наконец, последняя подгруппа образована шестью механизмами со звеньями первого и четвертого родов.

На базе найденных кинематических схем путем наложения дополнительных геометрических условий можно получить стержневые механизмы, воспроизводящие плоскопараллельное или сферическое движение объекта. Например, присоединив к объекту два двухпарных звена четвертого рода со вращательными парами, оси которых параллельны, получаем плоский четырехшарнирный механизм, а при пересечении этих осей в одной точке — сферический четырехзвенник.

* В табл. 2 приведены по две схемы из каждой подгруппы.

§ 2. Образование структурных схем стержневых механизмов, воспроизводящих поступательное движение объекта

1. *Пространственное поступательное движение.* При решении ряда технических задач требуется параллельный перенос платформы через заданные позиции в пространстве или многократное воспроизведение

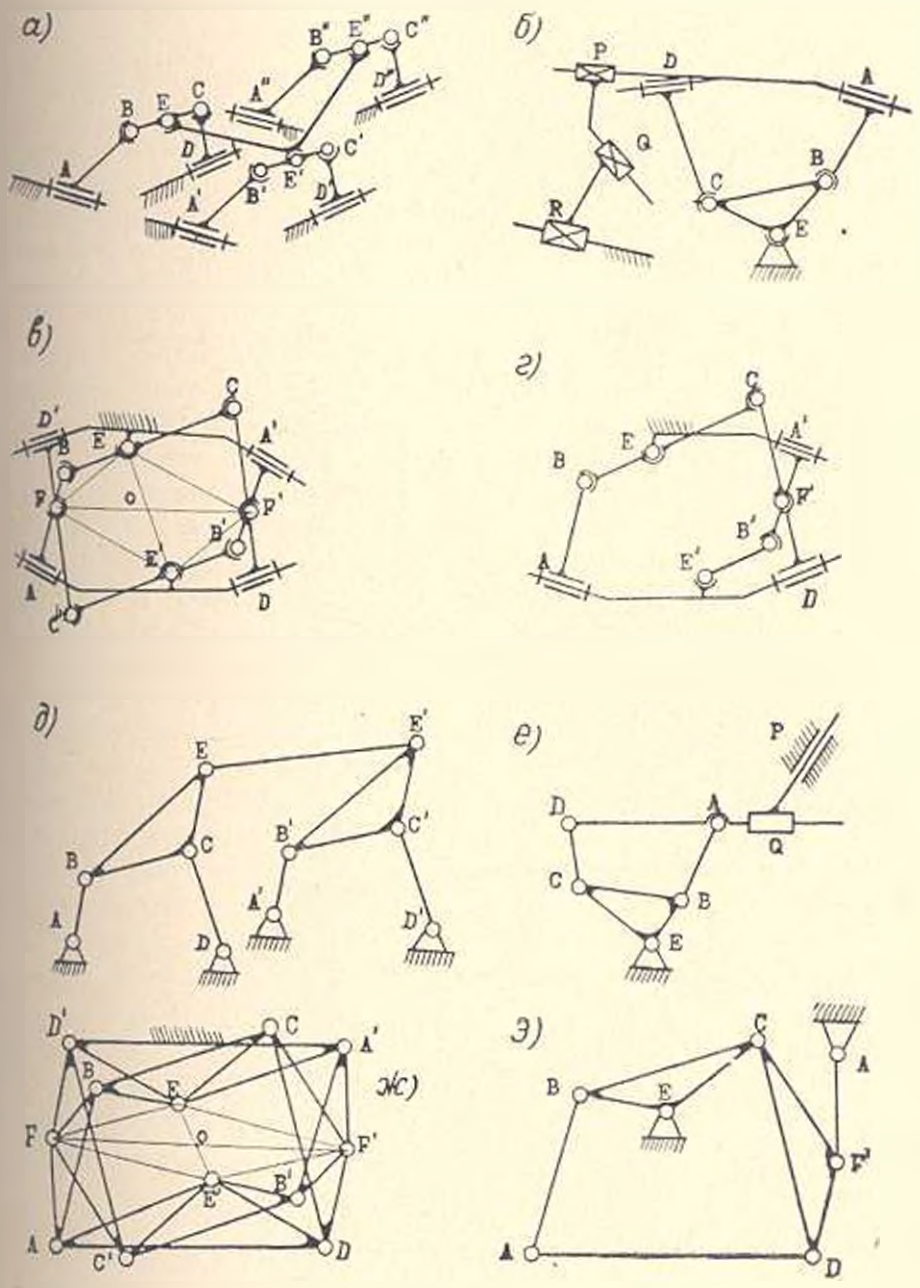


Рис. 1.

заданной кривой. В подобных случаях структурный синтез сводится к образованию кинематических схем механизмов, воспроизводящих поступательное движение шатуна. Для осуществления пространственного поступательного движения достаточно обеспечить перемещение любых трех точек его, не лежащих на одной прямой, по конгруентным траекториям. С этой целью управляемый объект посредством сферических пар E, E', E'' можно соединить с соответствующими точками шатунов трех одинаковых пространственных четырехзвенников $ABCD$, $A'B'C'D'$ и $A''B''C''D''$ (рис. 1,*а*). В результате получается одиннадцатизвенный пространственный механизм.

Данную задачу можно решить и иным путем, а именно: к объекту присоединяется пространственный четырехзвенник $ABCD$, который обеспечивает требуемую траекторию поступательного движения, а поворот объекта вокруг неподвижных координатных осей исключается с помощью кинематической цепи PQR с поступательными парами (рис. 1, *б*).

Однако большое количество звеньев в первом механизме и наличие поступательных пар во втором ограничивают возможность их практического применения. Теорема, доказанная в работе [2], позволяет шарнирным соединением звеньев пространственного четырехзвенника $ABCD$ и его симметрии $A'B'C'D'$ получить одноподвижный восьмизвенный механизм с поступательным движением $AE'D$ (рис. 1, *в*). Так как механизм содержит пассивные условия связи, то без нарушения подвижности от механизма можно отсоединить любое из звеньев $B'C'$, $A'B'$, $C'D'$, получая таким образом семизвенные механизмы, в которых шатун $AE'D$ движется поступательно по шатунной кривой точки E' четырехзвенника $A'B'C'D'$. Один из этих семизвенников показан на рис. 1, *г*.

2. *Плоское поступательное движение.* Для плоского поступательного движения объекта достаточно перемещать любые две точки его по плоским конгруентным кривым (рис. 1, *д*) или же исключить возможность поворота объекта относительно оси, перпендикулярной плоскости движения (рис. 1, *е*). В работе [3] доказывается аналог приведенной выше теоремы для случая плоского движения. Плоский восьмизвенник, соответствующий утверждению теоремы и полученный при произвольном расположении чертящей точки E на шатуне, изображен на рис. 1, *ж*. Как данный восьмизвенник, так и производные шестизвенные механизмы, образованные отсоединением двухзвенных неассуровых кинематических цепей $C'E'B'F'A'$, $B'E'C'F'D'$, $CF'DA'B'$ и $BAF'D'C'$, обеспечивают поступательное движение звена $AE'D$ по траектории точки E' четырехзвенника $A'B'C'D'$. На рис. 1,*з* изображен один из указанных шестизвенников.

§ 3. Современные применения перемещающих механизмов

Первые примеры практического применения стержневых перемещающих механизмов относятся еще ко второй половине прошлого века,

Отметим, например, известную «стопоходящую» машину Чебышева. Идея ее основывается на определенном подобии симметричной шатунной кривой лямдаобразного механизма Чебышева к траектории движения конца ноги животного относительно его корпуса. Однако интерес к стержневым направляющим механизмам по-настоящему

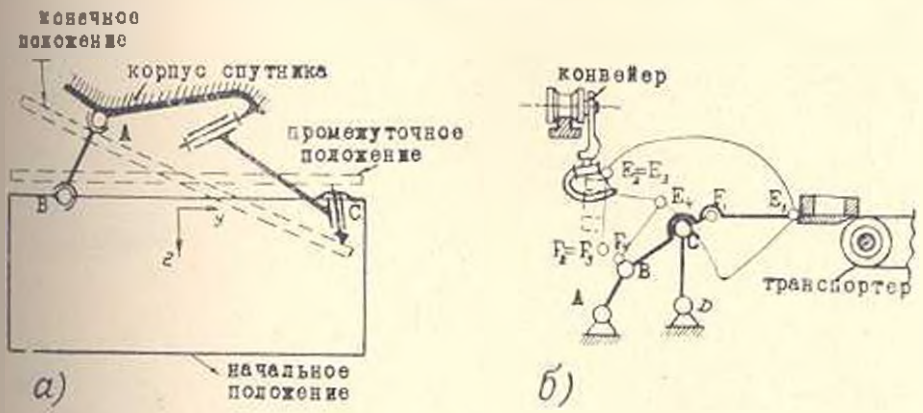


Рис. 2.

возрос в последние годы в связи с использованием их в космической технике, автомобильных подвесках, биомеханических устройствах, специальных станках, сельхозтехнике и т. д. Ниже описываются некоторые характерные применения стержневых перемещающих механизмов в различных областях современной техники. Сначала на примерах рассмотрим применение стержневых механизмов для воспроизведения сложного движения объекта.

Для установки солнечных панелей на орбитальных спутниках Уилсоном [4] синтезирован пространственный четырехзвенный механизм $ABCD$ (рис. 2, *а*), при помощи которого осуществляется движение плоской панели длиной 150 *см* и шириной 60 *см*, вначале лежащей в плоскости, определяемой уравнением $x = 0$, в положение, определяемое поворотом на 90° вокруг оси y, а затем поворотом на 36°52′ вокруг оси x.

В вспомогательных цехах прокатного производства для транспортировки катушек использован [5] плоский четырехзвенный механизм $ABCD$ (рис. 2, *б*). Плоскость шатуна EF проходит через заданные положения E_1F_1, E_2F_2, E_3F_3. Катушки, подаваемые ленточным транспортером, поступают на горизонтальную плоскость шатуна (положение E_1F_1), затем проводятся в положение E_2F_2 и подвешиваются на крючок конвейера.

Еще большее распространение нашли шарнирные механизмы с поступательным движением шатуна. Во избежание больших ударных нагрузок и деформаций осей при передвижении по неровной местности представляется необходимым [6] подрессоривание колес прицепных тележек. С этой целью колеса соединяются с осью через промежуточные

шарнирные устройства (рис. 3, *а*), допускающие прямолинейное движение колес в плоскости, перпендикулярной направлению поступательного движения тележки.

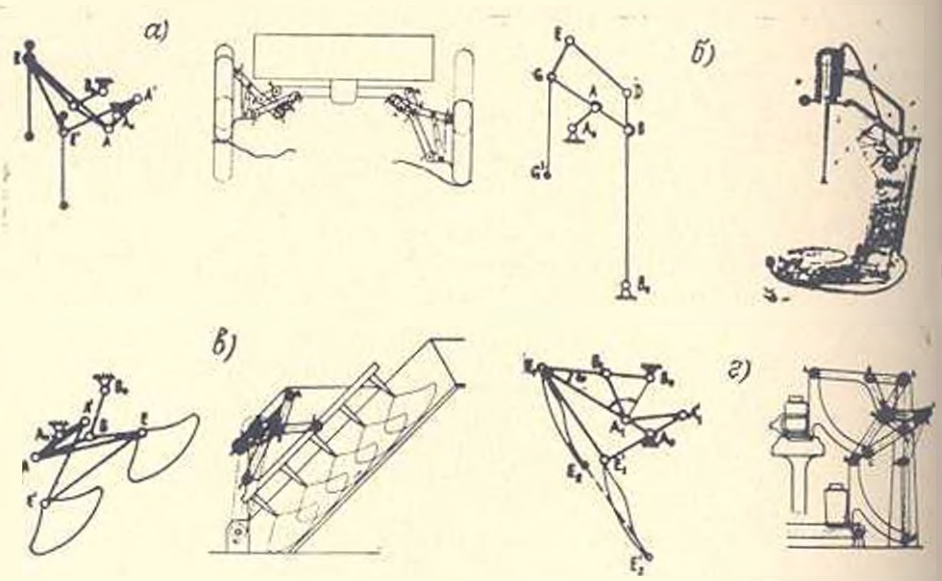


Рис. 3.

Для перемещения головки сверлильного станка (рис. 3, *б*) применен шестизвенный рычажной механизм, что значительно облегчает и удешевляет станок, так как позволяет отказаться от массивных литых направляющих (электромотор M прикреплен к точкам G и E прямолинейно движущегося ведомого звена направляющего механизма).

С помощью шестизвенного шарнирного механизма обеспечивается конгруентное криволинейное движение несущих зубцов наклонного транспортера (рис. 3, *в*). Требуемые размеры и форма траекторий выполняются соответствующим подбором соотношений между размерами базисного четырехзвенника A_0ABB_0E.

На рис. 3, *г* изображены кинематическая и полуконструктивная схемы транспортера резервуара жидкости. В данным случае поступательное движение съемника резервуара требуется для осуществления параллельного перемещения линии поверхности жидкости.

Ереванский политехнический
институт им. К. Маркса

Поступило 7.VII.1971

Կ. Մ. ՄԿՐՏՉՅԱՆ, ՅՈՒ. Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՕԲՅԵԿՏԻ ԲԱՐԴ ՇԱՐԺՈՒՄ ՎԵՐԱՐՏԱԴՐՈՂ ԼԾԱԿԱՅԻՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄՆԵՐ

Ամփոփում

Հոդվածում առաջարկվում է տանող օղակի բարդ շարժում վերարտադրող տարածական և հարթ լծակային մեխանիզմների կինեմատիկական սխեմաների կառուցման ընդհանուր մեթոդ: Բերվում են նաև շարժաթևի կորագիծ-համընթաց շարժում իրականացնող հոդակապային մեխանիզմների հիմնական սխեմաները: Վերջում նկարագրվում են այդ մեխանիզմների մի քանի ժամանակակից կիրառությունները:

ЛИТЕРАТУРА

1. *Чен П., Росс Б.* Расчетные уравнения для синтеза кинематических цепей по раздельным и бесконечно близким положениям. «Конструирование и технология машиностроения», № 1, 1969.
2. *Саркисян Ю. Л.* О некоторых свойствах и преобразованиях пространственного четырехзвенника. «Известия АН Арм. ССР (серия Т. Н.)», т. XXIII, № 5, 1970.
3. *Саркисян Ю. Л.* Некоторые новые теоремы и преобразования на основе свойств симметрии в шарнирных механизмах. Материалы VI совещания по основным проблемам теории машин и механизмов, 1970, Ленинград.
4. *Уилсон.* Аналитический кинематический синтез механизмов посредством конечных перемещений. «Конструирование и технология машиностроения», № 2, 1965.
5. *Kunad G., Goetze R., Ilansler H.* Getriebtechnische Beispiele aus dem Walzwerkshilfsmaschinenbau. „Maschinenbautechnik", № 10, 1968.
6. *Hain K.* Erzeugung von Parallel-Koppelbewegungen mit Anwendungen in der Landtechnik. „Grundlagen der Landtechnik", Heft 20, 1964.
7. *Volmer J.* Gelenkmechanismen als Ersatz für Sittenführungen. „Maschinenbautechnik" 9, 1960, H. 6.