

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 62.232

Л.Т. Дворников, Е.Н. Максимова

КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА С ПЕРЕКАТЫВАЮЩИМСЯ РЫЧАГОМ, ВЫПОЛНЕННЫМ С ДВУМЯ ВЫСШИМИ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМИ

В машиностроительной практике применение имеют прессовые машины, а также разного рода газо- и гидрораспределительные механизмы, использующие эффект перекатывающихся рычагов. Важной особенностью таких машин и механизмов является использование в них высших кинематических пар p_4 , позволяющих как вращение, так и поступательное относительное движение звеньев. Можно утверждать, что к теории таких механизмов пока не было обращено должного внимания. В настоящей статье делается попытка постановки такой задачи. Наиболее представительные сведения о строении и принципе действия механизмов перекатывающихся рычагов были приведены в справочнике «Механизмы в современной технике» академика Артоболевского И.И. [1], где автор описывает пятнадцать схем механизмов перекатывающихся рычагов с одной высшей кинематической парой без указания на область их применения.

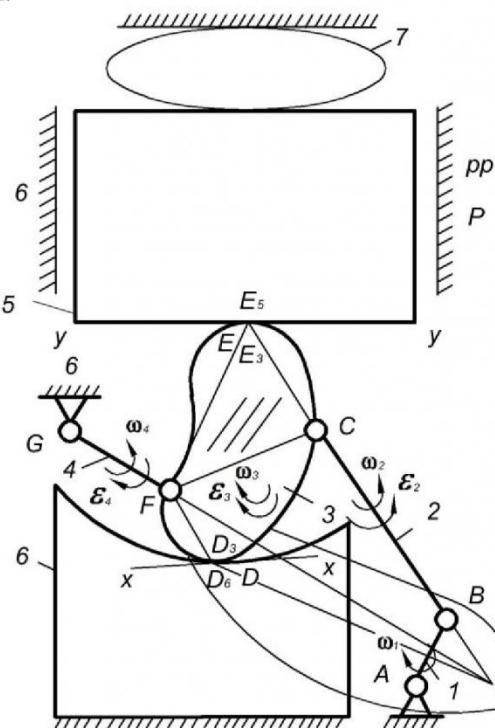


Рис. 1. Механизм с перекатывающимся рычагом, выполненным с двумя высшими кинематическими парами

В отличие от механизмов, описанных Артоболевским И.И., в настоящем исследовании рассматривается механизм, перекатывающийся рычаг которого входит в соединение с другими звеньями посредством двух высших кинематических пар. Механизм защищен патентом на изобретение № 2514322 [2], его кинематическая схема приведена на рис. 1.

Механизм приводится в движение от кривошипу 1, соединенного с шатуном 2 через вращательную кинематическую пару B . В свою очередь шатун 2 входит во вращательную кинематическую пару C с перекатывающимся рычагом 3, который выполнен четырехпарным с двумя высшими кинематическими парами D и E и вращательной парой F коромысла 4. Перекатываясь со скольжением по неподвижному звену 6, рычаг 3 приуждает к поступательному движению ползуну 5, воздействующий на обрабатываемый объект 7.

При задании вращения кривошипу 1 все остальные звенья получают вполне определенное движение. Это доказывается тем, что при числе его подвижных звеньев $n=5$, числе одноподвижных кинематических пар $p_5=6$ (A, B, C, F, G и P) и числе высших кинематических пар $p_4=2$, формула П.Л. Чебышева

$$W = 3n - 2p_5 - p_4, \quad (1)$$

определяет подвижность механизма, равную единице. В механизме можно выделить две группы звеньев нулевой подвижности: звенья 2, 3, 4 и выходное звено 5.

Зададимся угловой скоростью звена 1. Кинематическое исследование (рис. 2) начнем с определения скорости точки B , которая известна по величине и направлению

$$\bar{V}_B = \omega_1 \cdot l_{AB}, \quad \bar{V}_B \perp AB,$$

отложим ее на плане в масштабе μ_v .

Исследование группы звеньев 2, 3 и 4 возможно через нахождение особых точек. Одна из таких точек лежит на пересечении линий поводков BC и GF . Обозначим ее через S , она принадлежит звену 3. Скорость особой точки S определится системой векторных уравнений

$$\begin{cases} \bar{V}_S = \bar{V}_B + \bar{V}_{CB} + \bar{V}_{SC}, & \bar{V}_{CB} + \bar{V}_{SC} \perp BC, \\ \bar{V}_S = \bar{V}_G + \bar{V}_{FG} + \bar{V}_{SF}, & \bar{V}_{FG} + \bar{V}_{SF} \perp GF. \end{cases}$$

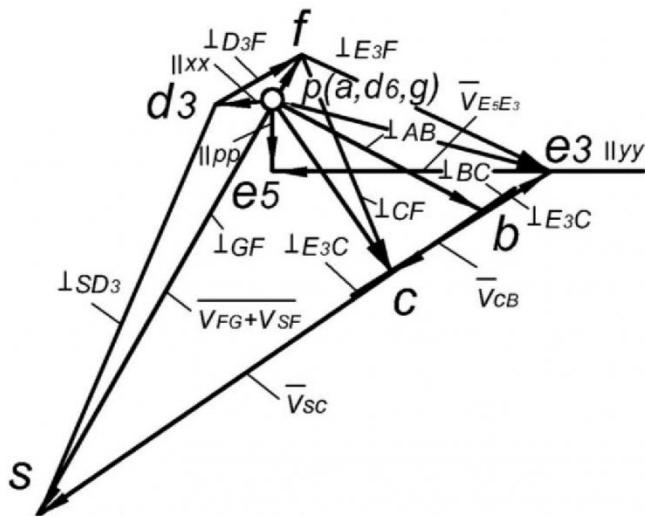


Рис. 2. План скоростей механизма с перекатывающимся рычагом

Если из полюса p плана скоростей провести линию, перпендикулярную GF , а из точки v линию, перпендикулярную BC , то на их пересечении определится конец вектора скорости $\overline{V_s}$. Полученные при построении плана отрезки \overline{ps} и \overline{bs} есть суммарные скорости $\overline{V_{FG} + V_{SF}}$ и $\overline{V_{CB} + V_{SC}}$. Далее становится возможным определить скорость точки D_3 звена 3 по векторным уравнениям

$$\begin{cases} \overline{V}_{D_3} = \overline{V}_S + \overline{V}_{D_3 S}, & \overline{V}_{D_3 S} \perp SD_3, \\ \overline{V}_{D_3} = \overline{V}_{D_6} + \overline{V}_{D_3 D_6}, & \overline{V}_{D_6} = 0, \overline{V}_{D_3 D_6} \parallel xx. \end{cases}$$

В свою очередь скорости точек F и C определяются системами векторных уравнений

$$\begin{cases} \overline{V}_F = \overline{V}_{D_3} + \overline{V}_{FD_3}, \quad \overline{V}_{FD_3} \perp D_3 F, \\ \overline{V}_F = \overline{V}_G + \overline{V}_{FG}, \quad \overline{V}_G = 0, \quad \overline{V}_{FG} \perp GF, \\ \overline{V}_C = \overline{V}_F + \overline{V}_{CF}, \quad \overline{V}_{CF} \perp CF, \\ \overline{V}_C = \overline{V}_B + \overline{V}_{CB}, \quad \overline{V}_{CB} \perp BC. \end{cases}$$

Из плана скоростей можно найти каждый вектор отдельно, так, входящие в суммарные вектора составляющие $\overline{V_{FG}}$ и $\overline{V_{SF}}$ представлены в виде отрезков \overline{pf} и \overline{fs} , а $\overline{V_{CB}}$ и $\overline{V_{SC}}$ - \overline{bc} и \overline{cs} .

Скорость точки E_3 и скорость выходного звена 5 определим с помощью систем векторных уравнений

$$\begin{aligned}\overline{V}_{E_3} &= \overline{V}_C + \overline{V}_{E_3 C}, \\ \overline{V}_{E_3} &= \overline{V}_F + \overline{V}_{E_3 F}, \\ \overline{V}_{E_3 C} \perp E_3 C, \quad &\begin{cases} \overline{V}_{E_5} = \overline{V}_{E_3} + \overline{V}_{E_5 E_3}, & \overline{V}_{E_5 E_3} \parallel yy, \\ \overline{V}_{E_5} = \overline{V}_{E_5 P}, & \overline{V}_{E_5 P} \parallel pp. \end{cases}\end{aligned}$$

Вектора \overline{bc} , $\overline{d_3f}$, \overline{pf} на плане определят величины и направления угловых скоростей звеньев 2, 3 и 4 (рис. 1)

$$\omega_2 = \frac{\overline{bc} \cdot \mu_V}{l_{BC}}, \quad \omega_3 = \frac{\overline{d_3f} \cdot \mu_V}{l_{D_3F}}, \quad \omega_4 = \frac{\overline{pf} \cdot \mu_V}{l_{GF}}.$$

План ускорений исследуемого механизма после построения вектора ускорения точки B в масштабе μ_a , как $\bar{a}_B = \overline{a''_{BA}} + \overline{a'^{t}_{BA}}$, при этом $a''_{BA} = \omega_1^2 \cdot l_{AB}$, $\overline{a''_{BA}} \parallel AB$ и направлено от B к A , $\overline{a'^{t}_{BA}} = 0$, т. к. $\omega_1 = \text{const}$, может быть построен через отыскание линейного ускорения особой точки S на основании следующих векторных уравнений

$$\begin{aligned} \overline{a}_S &= \overline{a_B} + \overline{a_{CB}^n} + \overline{a_{SC}^n} + \overline{a_{CB}^t} + \overline{a_{SC}^t}, \\ \overline{a_S} &= \overline{a_{FG}^n} + \overline{a_{SF}^n} + \overline{a_{FG}^t} + \overline{a_{SF}^t}, \\ a_{CB}^n &= \omega_2^2 \cdot l_{BC}, a_{SC}^n = \\ &= \omega_3^2 \cdot l_{SC}, \overline{a_{CB}^n + a_{SC}^n} \| CB, \overline{a_{CB}^t + a_{SC}^t} \perp CB, \quad (a) \\ a_{FG}^n &= \omega_4^2 \cdot l_{GF}, a_{SF}^n = \\ &= \omega_5^2 \cdot l_{SF}, \overline{a_{FG}^n + a_{SF}^n} \| GF, \overline{a_{FG}^t + a_{SF}^t} \perp GF. \end{aligned}$$

Вектор $\overline{a_{CB}^n}$ в виде отрезка \overline{bn} на плане (рис. 3) откладывается от точки b в направлении, параллельном BC от точки C к B , а вектор $\overline{a_{SC}^n}$ в виде отрезка \overline{nm} откладывается по тому же направлению, но от точки S к C , линия суммы тангенциальных ускорений $a_{CB}^t + a_{SC}^t$ проводится из точки m перпендикулярно BC (линия $\overline{mm'}$). Второе уравнение системы (а) организуется сложением вектора $\overline{a_{FG}^n}$, проведенного из полюса плана параллельно GF в направлении от F к G в виде отрезка \overline{pk} с вектором $\overline{a_{SF}^n}$ в том же направлении

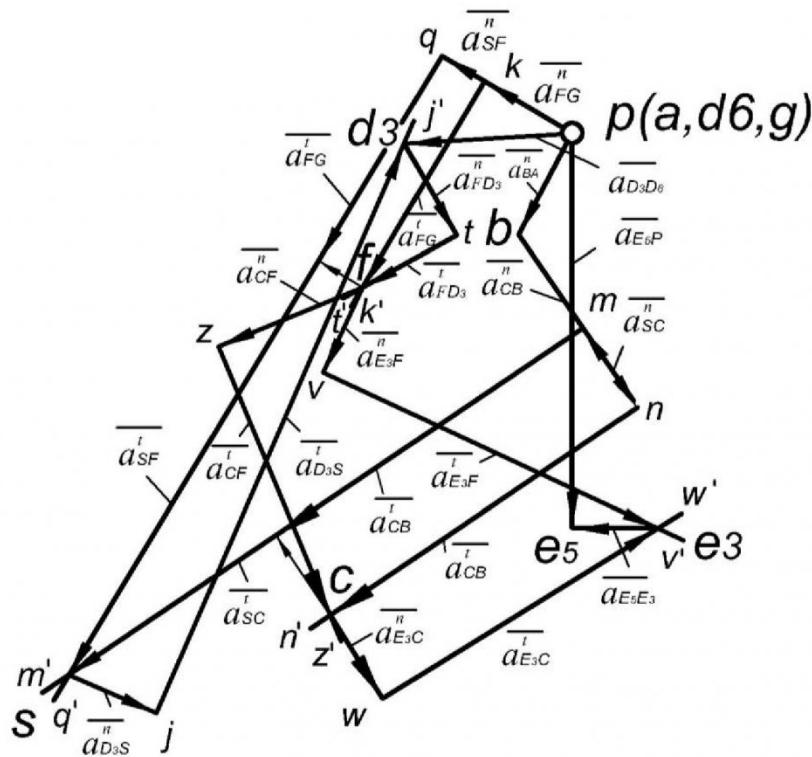


Рис. 3. План ускорений механизма с перекатывающимся рычагом

в виде отрезка \overline{kq} . Линия суммы тангенциальных ускорений $\overline{a_{FG}^t + a_{SF}^t}$ проводится из точки q перпендикулярно GF (линия $\overline{qq'}$). Точка пересечения линий $\overline{qq'}$ и $\overline{mm'}$ определит конец вектора \overline{ps} ускорения особой точки S . Далее может быть найдено ускорение точки D_3 из системы векторных уравнений

$$\begin{cases} \overline{a_{D_3}} = \overline{a_S} + \overline{a_{D_3S}^n} + \overline{a_{D_3S}^t}, \\ \overline{a_{D_3}} = \overline{a_{D_6}} + \overline{a_{D_3D_6}}, \\ a_{D_3S}^n = \omega_3^2 \cdot l_{SD_3}, \overline{a_{D_3S}^n} \parallel D_3S, \overline{a_{D_3S}^t} \perp D_3S, \\ a_{D_6}^n = 0, \overline{a_{D_3D_6}} \parallel xx. \end{cases} \quad (\text{в})$$

На основании системы (в) из точки S проводится вектор нормального ускорения $\overline{a_{D_3S}^n}$ в виде отрезка \overline{sj} , и далее из точки j проводится линия тангенциального ускорения $\overline{a_{D_3S}^t}$ (линия $\overline{jj'}$) до пересечения в точке d_3 с линией, проведенной из полюса параллельно xx . Ускорение точки F становится возможным определить из системы

$$\begin{cases} \overline{a_F} = \overline{a_{D_3}} + \overline{a_{FD_3}^n} + \overline{a_{FD_3}^t}, \\ \overline{a_F} = \overline{a_G} + \overline{a_{FG}^n} + \overline{a_{FG}^t}, \end{cases}$$

$$a_{FD_3}^n = \omega_3^2 \cdot l_{FD_3}, \overline{a_{FD_3}^n} \parallel FD_3, \overline{a_{FD_3}^t} \perp FD_3, \quad (\text{c})$$

$$\overline{a_G} = 0, \overline{a_{FG}^t} \perp GF.$$

Точка пересечения линий $\overline{kk'}$ и $\overline{tt'}$ определит точку f – конец вектора \overline{pf} ускорения точки F . Ускорение точки C может быть найдено из системы векторных уравнений

$$\begin{cases} \overline{a_c} = \overline{a_F} + \overline{a_{CF}^n} + \overline{a_{CF}^t}, \\ \overline{a_c} = \overline{a_B} + \overline{a_{CB}^n} + \overline{a_{CB}^t}, \\ a_{CF}^n = \omega_3^2 \cdot l_{FC}, \overline{a_{CF}^n} \parallel FC, \overline{a_{CF}^t} \perp FC, \\ \overline{a_{CB}^t} \perp BC. \end{cases} \quad (\text{d})$$

Точка пересечения линий $\overline{zz'}$ и $\overline{nn'}$ определит конец вектора \overline{pc} ускорения точки C . Далее определяется ускорение точки E_3 из системы векторных уравнений

$$\begin{cases} \overline{a_{E_3}} = \overline{a_C} + \overline{a_{E_3C}^n} + \overline{a_{E_3C}^t}, \\ \overline{a_{E_3}} = \overline{a_F} + \overline{a_{E_3F}^n} + \overline{a_{E_3F}^t}, \\ a_{E_3C}^n = \omega_3^2 \cdot l_{E_3C}, \overline{a_{E_3C}^n} \parallel E_3C, \overline{a_{E_3C}^t} \perp E_3C, \\ a_{E_3F}^n = \omega_3^2 \cdot l_{E_3F}, \overline{a_{E_3F}^n} \parallel E_3F, \overline{a_{E_3F}^t} \perp E_3F. \end{cases} \quad (\text{e})$$

Точка пересечения линий $\overline{ww'}$ и $\overline{vv'}$ определит точку e_3 – конец вектора $\overline{pe_3}$ ускорения точ-

ки E_3 . Ускорение ползуна 5 может быть найдено через систему векторных уравнений

$$\begin{cases} \overline{\overline{a_{E_3}}} = \overline{\overline{a_{E_3}}} + \overline{\overline{a'_{E_3E_3}}}, & \overline{\overline{a'_{E_3E_3}}} \parallel yy, \\ \overline{\overline{a_{E_5}}} = \overline{\overline{a_{E_5P}}}, & \overline{\overline{a_{E_5P}}} \parallel pp. \end{cases}$$

Вектор $\overline{\overline{a'_{E_3E_3}}}$ откладывается от точки e_3 параллельно yy до пересечения в точке e_5 с линией, проведенной из полюса параллельно pp .

По тангенциальным ускорениям $\overline{\overline{a'_{CB}}}$, $\overline{\overline{a'_{CF}}}$,

$\overline{\overline{a'_{FG}}}$ (отрезки $\overline{\overline{nn'}}$, $\overline{\overline{zz'}}$, $\overline{\overline{kk'}}$ на плане) определяются угловые ускорения звеньев 2, 3 и 4 (рис.1)

$$\varepsilon_2 = \frac{\overline{\overline{nn'}} \cdot \mu_a}{l_{BC}}, \quad \varepsilon_3 = \frac{\overline{\overline{zz'}} \cdot \mu_a}{l_{CF}}, \quad \varepsilon_4 = \frac{\overline{\overline{kk'}} \cdot \mu_a}{l_{GF}}.$$

Таким образом, механизм с перекатывающимся рычагом, выполненным с двумя высшими парами, имеет полную кинематическую разрешимость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике т. II. М.: Наука, 1971. 1007 с.
2. 2514322, С1 RU, МПК F16H 21/16. Механизм с перекатывающимся рычагом/ Дворников Л. Т., Максимова Е.Н. – № 2012155035; заяв. 18.12.2012. – Опубл. 27.04.2014, Бюл. № 12 – 4 с.; 1 ил.

Авторы статьи

<p>Дворников Леонид Трофимович, д.т.н., профессор, зав.каф.теории и основ конструирования машин СибГИУ, e-mail: maksimovaen06@mail.ru</p>	<p>Максимова Екатерина Николаевна, аспирант каф. теории и основ кон- струирования машин СибГИУ , e-mail: maksimovaen06@mail.ru</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

УДК 62-121

О.М. Яскевич

ОПИСАНИЕ И ВОЗМОЖНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО НЕАССУРОВА МЕХАНИЗМА

При проектировании механических систем, классическим способом синтеза кинематических цепей является принцип построения механизмов по Ассуру [1], заключающийся в том, что к ведущему звену, называемому «простым кривошипом», обладающему единичной подвижностью ($W=1$), присоединяется группа звеньев, подвижность которой равна нулю ($W_e=0$), эти механизмы называются ассуровыми. Синтез кинематических цепей по Ассуру не рассматривает многообразие механических систем, приводимых в движение неодноподвижным входным звеном. Такие механизмы называются *неассуровыми* механизмами [2], так как они не распадаются на группу Ассура и ведущее звено.

Присоединяемые к ведущему звену цепи неассуровых механизмов оказываются цепями отрицательной подвижности, а именно $W_e=-1$ – если на входе принимается двухподвижная пара, $W_e=-2$ при использовании трехподвижной пары, $W_e=-3$ при четырехподвижной входной паре и $W_e=-4$ при пятиподвижной входной паре.

Неассуровы механизмы уникальны тем, что входным звеньям задается единственное определенное движение, а остальные подвижности они приобретают в процессе взаимодействия с другими звеньями цепи. На рис. 1 изображена кинематическая схема одного из таких механизмов, за-

щищенного патентом [3]. Его сущность заключается в том, что задавая входному звену 2 единственное поступательное движение S , выходное звено 4 совершает колебательные движения в трех различных плоскостях классического декартового пространства.

Механизм состоит из четырех звеньев – стойки-гидроцилиндра 1, поршня со штоком 2, шатуна 3, и пространственного коромысла 4, три из которых являются подвижными ($n=3$).

Структурная особенность неассурова механизма выражается в том, что входное звено – поршень со штоком 2 входит со стойкой в двухподвижную кинематическую пару (p_4), которая позволяет поршню со штоком совершать поступательное перемещение S , и поворачиваться на угол ϕ_1 (рис.1.а).

Поступательное перемещение задается поршню со штоком 2 рабочим агентом (жидкостью), подаваемым в поршневую, а затем и штоковую область гидроцилиндра. Шатун 3 связан со стороны штока 2 и со стороны пространственного коромысла 4 во вращательные кинематические пары пятого класса p_5 (шарниры). Пространственное коромысло 4 соединено со стойкой 1 в сферическую кинематическую пару третьего класса p_3 .

Подвижность пространственных механических систем определяется по формуле Малышева