

# **МЕХАНИКА 1.2**

## **Кинематический анализ плоских рычажных механизмов**

*Методические указания для выполнения расчетно-графической  
работы №4*

Составитель: Е.С. Люминарская

Москва 2013

При изучении курса «Механика (часть 1.2)» предусмотрено выполнение четырех расчетно-графических работ: трех работ по разделу «Сопротивление материалов» (РГР 1,2,3) и одной работы по разделу «Теория механизмов и машин» (РГР 4). Предлагаемые методические указания предназначены студентам, выполняющим РГР 4. Эта расчетно-графическая работа посвящена кинематическому анализу плоских рычажных механизмов. В методических указаниях приведены исходные данные различных вариантов домашнего задания и разобран пример выполнения расчетно-графической работы.

### **Исходные данные**

Исходные данные для выполнения РГР 4 по курсу «Механика 1.2» должны быть выбраны из таблицы 1 в соответствии с индивидуальным шифром студента.

*Для этого следует из электронного почтового адреса, выданного в ИДО, выбрать последние две цифры. Из таблицы 1 по последней цифре адреса выбирают номер схемы, а по предпоследней цифре выбирают угол поворота начального звена . Схемы механизмов представлены на рис.1-3. Например, номер электронного почтового адреса 234967. Тогда по последней цифре 7 из таблицы 1 выбирают схему №8, а по предпоследней цифре 6 выбирают угол .*

Таблица 1

№	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
схема	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0	30	60	120	150	180	210	240	300	330

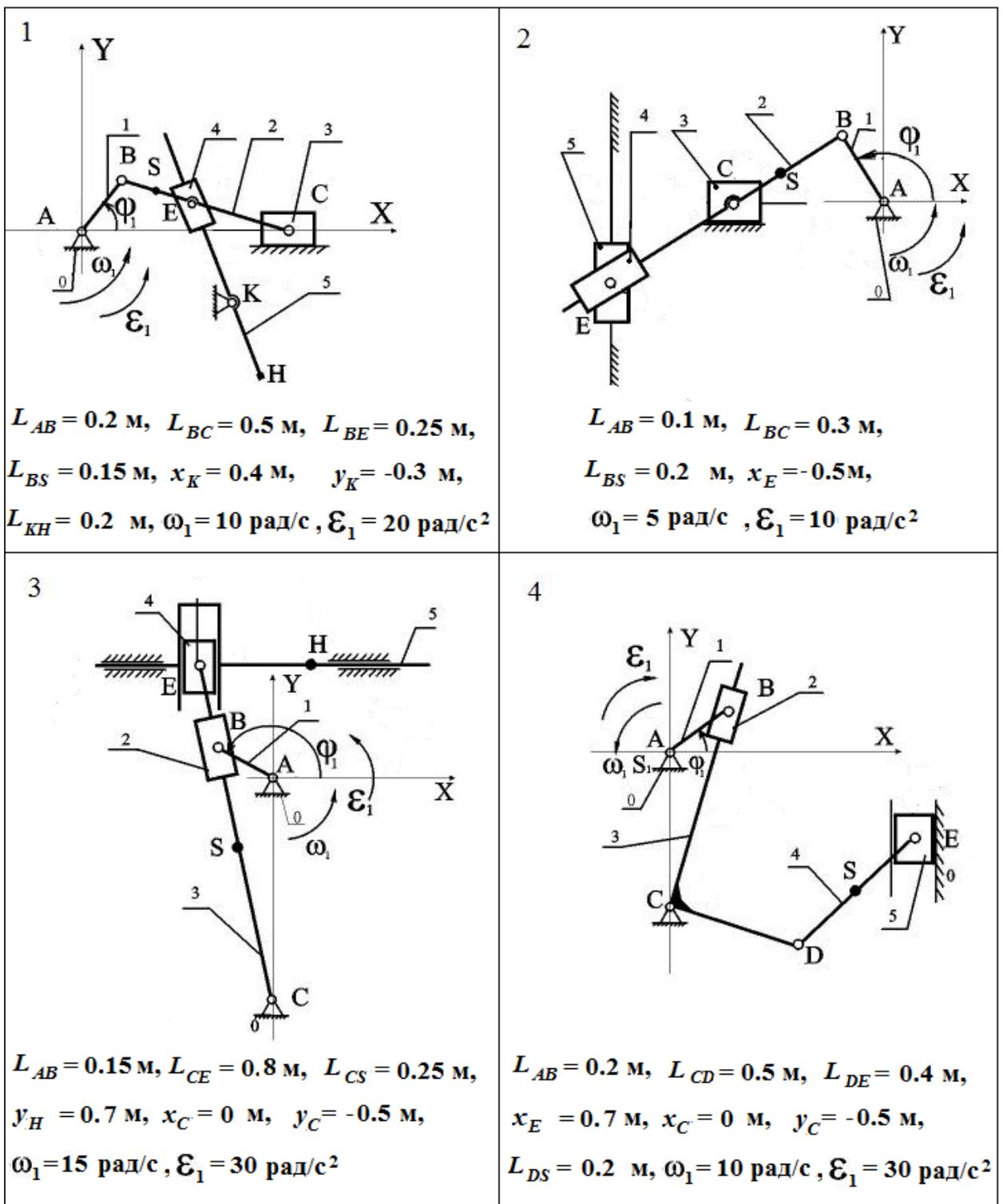


Рис.1 Схемы механизмов

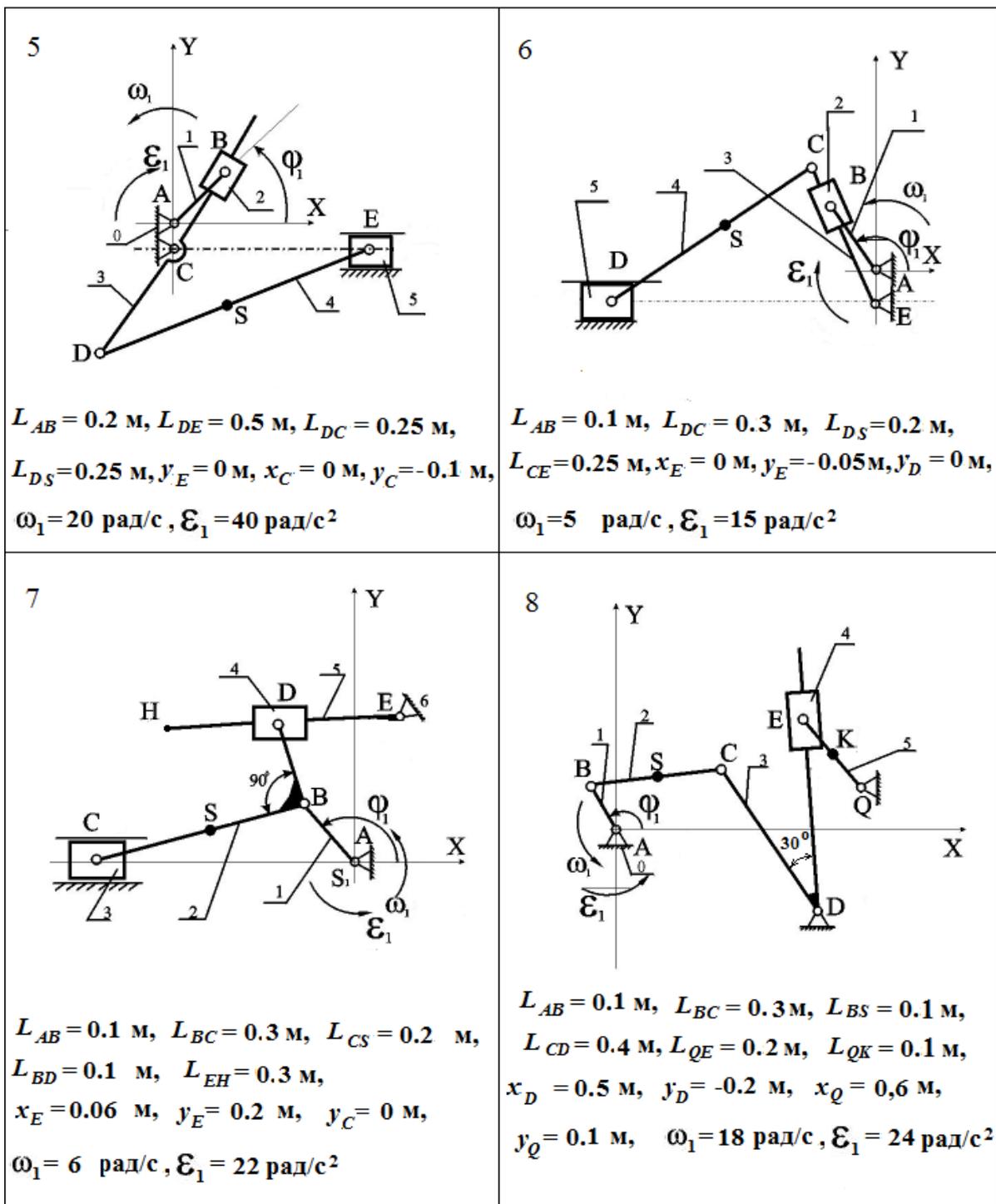


Рис.2 Схемы механизмов

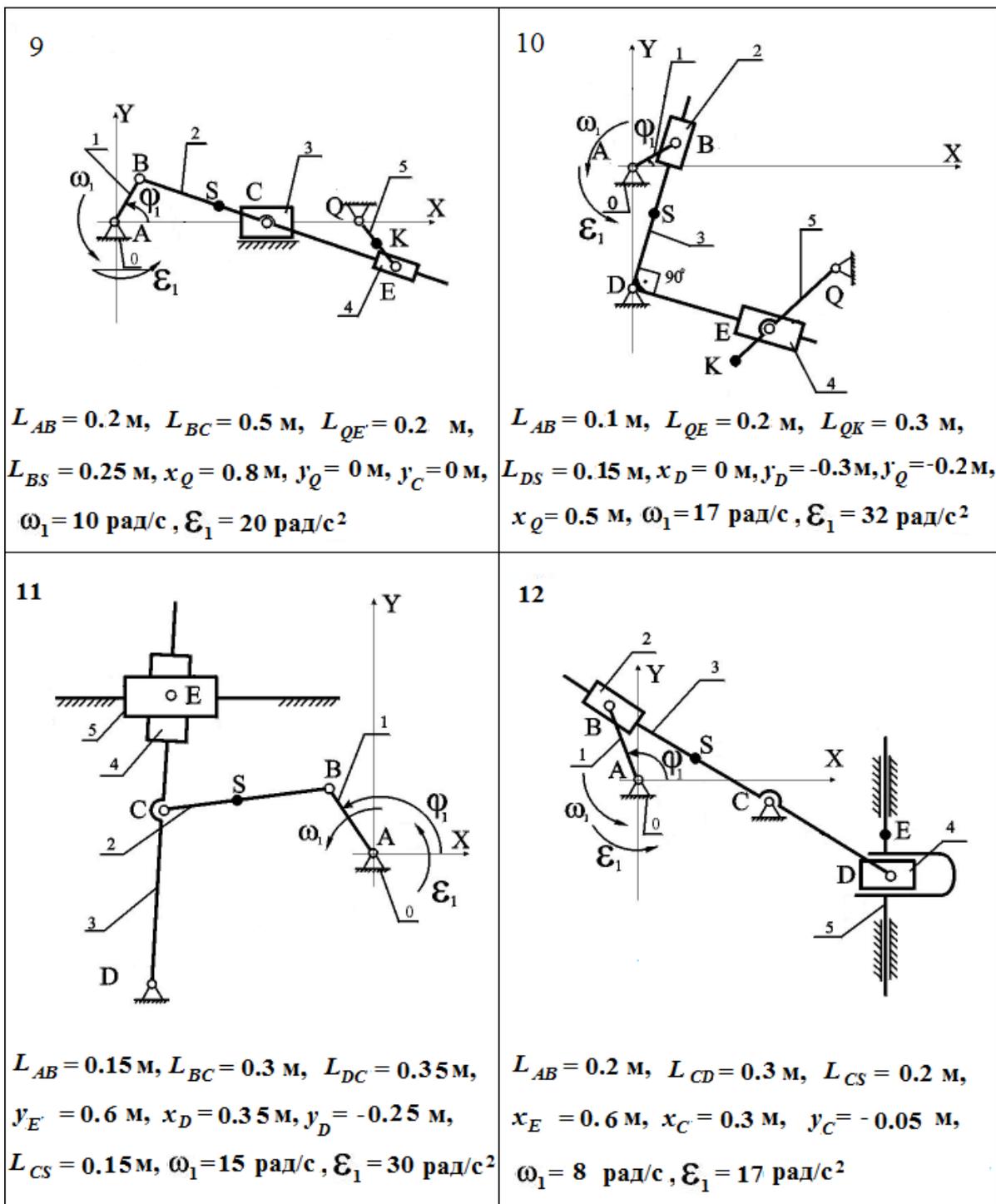


Рис.3 Схемы механизмов

В задании требуется определить скорости и ускорения всех точек, показанных на схеме механизма, угловые скорости и угловые ускорения всех звеньев. Кинематическое исследование механизма необходимо выполнять

графо-аналитическим способом с помощью построения планов скоростей и ускорений.

### **Порядок выполнения работы.**

1. Вычерчивают схему механизма в масштабе в заданном положении, определяемом углом поворота начального звена. Масштаб схемы механизма представляет собой отношение размера звена на чертеже в [мм] к реальному размеру звена в [м] — — .

2. Строят план скоростей данного механизма, из которого определяют линейные скорости всех точек. Далее определяют угловые скорости всех звеньев.

3. Строят план ускорений механизма, из которого определяют линейные ускорения всех точек. Далее определяют угловые ускорения всех звеньев.

Графическую часть работы можно выполнять в AutoCAD или на миллиметровке формата А3. Файлы с чертежами присылают в форматах AutoCAD 2009 или .pdf. Расчетно- пояснительную записку выполняют в Word2003 или Word2007. Если пояснительная записка написана от руки на листах формата А4, то ее присылают в формате .pdf.

### **Пример выполнения расчетно-графической работы.**

*Дано:* кинематическая схема механизма (рис.4); размеры звеньев  $L_{AB} = 0.15\text{м}$ ,  $L_{BC} = 0.46\text{м}$ ,  $L_{BD} = 0.23\text{м}$ ,  $L_{BD} = 0.23\text{м}$ ,  $L_{EH} = 0.2\text{м}$ ,  $L_{BS_2} = 0.15\text{м}$ ,  $x_E = 0.3\text{м}$ ,  $y_E = -0.25\text{м}$ ; угловая координата начального звена ; угловая скорость и ускорение начального звена  $\omega_1 = 15\text{с}^{-1}$ ,  $\varepsilon_1 = 10\text{с}^{-2}$ .

*Требуется:* построить планы скоростей и ускорений; определить линейные скорости и ускорения точек, отмеченных на рисунке

$(V_B, V_C, V_{S_2}, V_{D_2}, V_{D_5}, V_H, a_B, a_C, a_{S_2}, a_{D_2}, a_{D_5}, a_H)$ ; угловые скорости и ускорения звеньев  $(\omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4, \varepsilon_5)$ .

Примечание. Точка  $D_2$  принадлежит 2-ому звену, точка  $D_5$  – 5-ому звену.

*Решение:*

1. Схему механизма строят в масштабе  $\mu_l = 200 \frac{\text{мм}}{\text{м}}$ . С учетом выбранного масштаба размеры звеньев на схеме будут равны:

$$\begin{aligned} AB &= L_{AB} \cdot \mu_l = 0.15 \cdot 200 = 30 \text{ мм}; & BC &= L_{BC} \cdot \mu_l = 0.46 \cdot 200 = 92 \text{ мм} \\ BD &= L_{BD} \cdot \mu_l = 0.23 \cdot 200 = 46 \text{ мм}; & BS_2 &= L_{BS_2} \cdot \mu_l = 0.15 \cdot 200 = 30 \text{ мм}; \\ EH &= L_{EH} \cdot \mu_l = 0.2 \cdot 200 = 40 \text{ мм}; & x_E^* &= x_E \cdot \mu_l = 0.3 \cdot 200 = 60 \text{ мм}; \\ y_E^* &= y_E \cdot \mu_l = -0.25 \cdot 200 = -50 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Схему механизма вычерчивают следующим образом. От оси  $Ax$  откладывают заданный угол и строят отрезок длиной  $AB = 30 \text{ мм}$ . Далее проводят дугу окружности радиусом  $R = BC$  с центром в точке  $B$  и находят точку пересечения этой окружности с осью  $Ax$ . Полученную точку  $C$  соединяют с точкой  $B$ . На расстоянии  $BS_2 = 30 \text{ мм}$  от точки  $B$  отмечают точку  $S_2$ , на расстоянии  $BD = 46 \text{ мм}$  от точки  $B$  – точку  $D$ . На плоскости чертежа показывают точку  $E$ , которая имеет координаты  $x_E^* = 60 \text{ мм}$ ,  $y_E^* = -50 \text{ мм}$ . Точку  $B$  соединяют с точкой  $E$ . На линии  $DE$  откладывают отрезок  $EH = 40 \text{ мм}$ .

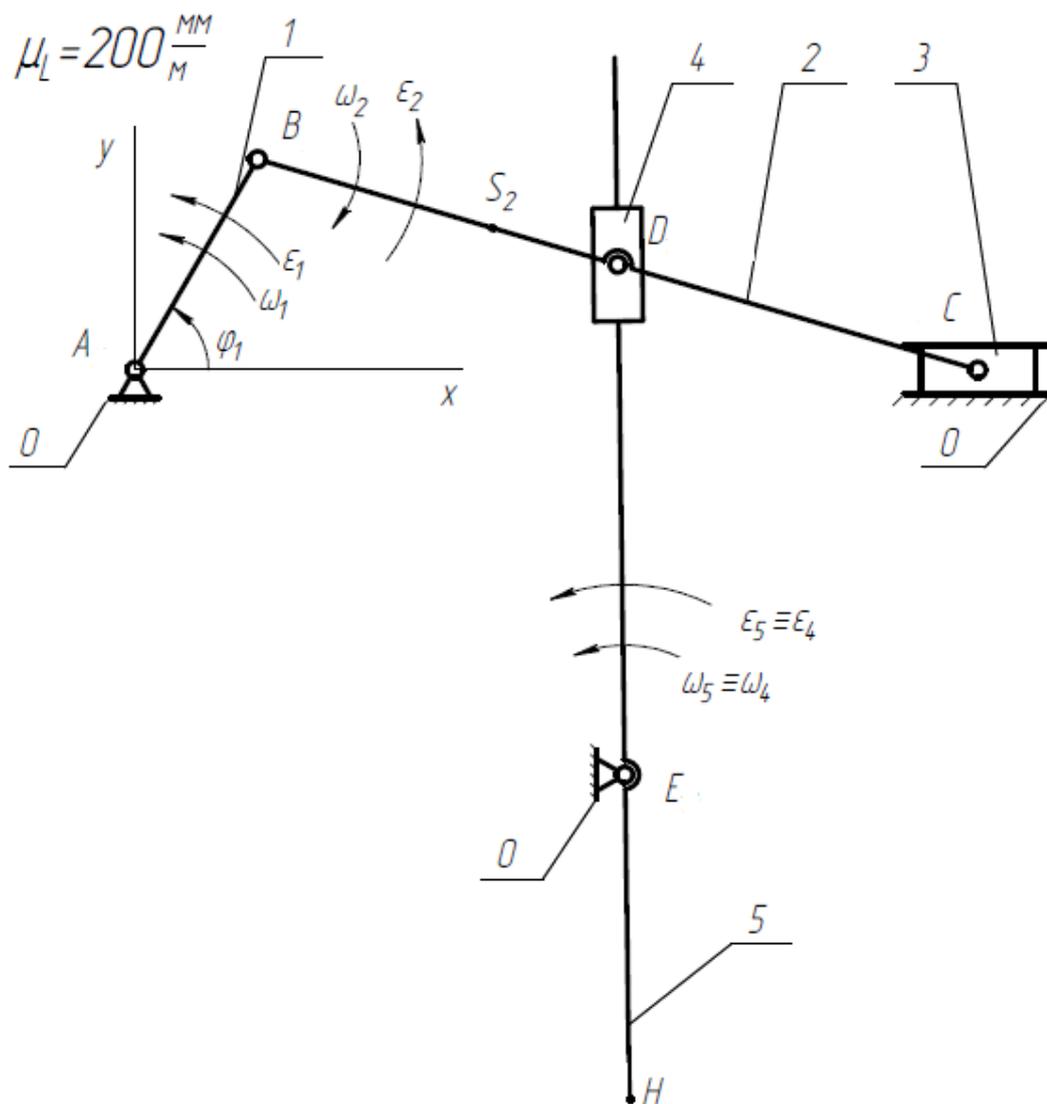


Рис.4 Схемы механизма

2. Определение скоростей точек выполняют методом построения плана скоростей. Звено 1 совершает вращательное движение, поэтому скорость точки  $B$  определяют по формуле  $V_B = \omega_1 \cdot L_{AB} = 15 \cdot 0.15 = 2.25 \frac{M}{c}$ . Вектор этой скорости перпендикулярен линии  $AB$  и направлен в сторону угловой скорости  $\omega_1$ . Выбирают масштаб плана скоростей  $\mu_V = 50 \frac{MM}{M \cdot c^{-1}}$ . Тогда длина отрезка, изображающего вектор скорости  $\vec{V}_B$ , равна  $Pb = V_B \cdot \mu_V = 2.25 \cdot 50 = 112.5 M$ . На плоскости чертежа (рис. 5) в

произвольном месте отмечают полюс плана скоростей точку  $P$ . На плане изображают скорость  $\vec{V}_B$ . Для этого от точки  $P$  вдоль линии перпендикулярной звену  $AB$  откладывают отрезок  $Pb$  в сторону угловой скорости  $\omega_1$ .

Звено  $BC$  совершает плоскопараллельное движение, поэтому для определения скорости т.С используют теорему о сложении скоростей

$$\vec{V}_C \underset{\parallel Ax}{=} \vec{V}_B + \vec{V}_{CB} \underset{\perp CB}{.}$$

В этом векторном уравнении скорость  $\vec{V}_B$  известна по величине и направлению. Скорость  $\vec{V}_{CB}$  представляет собой скорость точки  $B$  при относительном вращении звена 2 вокруг точки  $B$ . При этом подвижная система координат движется поступательно вместе с точкой  $B$ . Вектор скорости  $\vec{V}_{CB}$  известен только по направлению ( $\vec{V}_{CB} \perp BC$ ). Точка  $C$  совершает прямолинейное движение вдоль оси  $Ax$ . Скорость  $\vec{V}_C$  также известна только по направлению ( $\vec{V}_C \parallel Ax$ ).

Для построения плана скоростей из точки  $b$  проводят прямую перпендикулярную звену  $BC$  (по направлению скорости  $\vec{V}_{CB}$ ), а из т.Р – прямую параллельную оси  $Ax$  (по направлению скорости  $\vec{V}_C$ ). На пересечении этих прямых лежит точка  $c$ . Образовавшиеся отрезки  $pc$  и  $cb$  изображают скорости  $\vec{V}_C$  и  $\vec{V}_{CB}$  соответственно.

Скорости точек  $S_2$  и  $D_2$  определяют по теореме подобия.

*Теорема подобия.*

*Точки одного звена на плане механизма и концы векторов скоростей (ускорений) этих точек на плане скоростей (ускорений) образуют подобные и сходственно расположенные фигуры.*

Точки  $B, C, S_2, D$  принадлежат одному 2-ому звену и располагаются на отрезке  $BC$  (см. рис. 4). По теореме подобия концы векторов скоростей этих точек (т.  $b, c, s_2, d_2$ ) расположены на одной прямой. На плане скоростей измеряют длину отрезка  $bc$  ( $bc = 58.6 \text{ мм}$ ). Коэффициент подобия указанных отрезков  $bc$  и  $BC$  равен  $k_1 = \frac{bc}{BC} = \frac{58.6}{92} = 0.634$ . Длины отрезков  $bs_2$  и  $bd_2$  определяют через коэффициент подобия  $bs_2 = k_1 \cdot BS_2 = 0.634 \cdot 30 = 19 \text{ мм}$ ,  $bd_2 = k_1 \cdot BD = 0.634 \cdot 46 = 29.2 \text{ мм}$ . Далее откладывают полученные отрезки на плане скоростей и изображают вектора скоростей рассматриваемых точек  $S_2$  и  $D_2$  направленными отрезками  $\vec{Ps}_2$  и  $\vec{Pd}_2$ . Так как точка  $D_4$ , принадлежащая 4 звену, перемещается вместе с точкой  $D_2$ , принадлежащей 2 звену, то  $\vec{V}_{D_4} = \vec{V}_{D_2}$ .

Скорость точки  $D_5$  определяют по теореме о сложении скоростей при сложном движении точки. Неподвижную систему координат жестко связывают со стойкой, подвижную систему координат – со звеном 4. При таком выборе систем координат переносная скорость точки  $D_5$  будет равна скорости точки  $D_4$ . Тогда абсолютная скорость рассматриваемой точки  $D_5$  определяют из векторного уравнения  $\vec{V}_{D_5} = \vec{V}_{D_4} + V_{D_5 D_4}$ .

Переносная скорость  $\vec{V}_{D_4}$  известна по величине и направлению. Относительная скорость  $\vec{V}_{D_5 D_4}$  известна только по направлению ( $\vec{V}_{D_5 D_4} \parallel DE$ ). В абсолютном движении точка  $D_5$  движется вместе со звеном 5, которое совершает вращательное движение. Угловая скорость рассматриваемого 5-го звена неизвестна. Поэтому абсолютная скорость  $\vec{V}_{D_5}$  также известна только по направлению ( $\vec{V}_{D_5} \perp DE$ ).

Для построения плана скоростей из точки  $d_4$  проводят прямую параллельную звену  $DE$  (по направлению скорости  $\vec{V}_{D_5D_4}$ ), а из точки  $P$  – прямую перпендикулярную линии  $DE$  (по направлению скорости  $\vec{V}_{D_5}$ ). На пересечении этих прямых лежит точка  $d_5$ . Образовавшиеся отрезки  $Pd_5$  и  $d_4d_5$  изображают скорости  $\vec{V}_{D_5}$  и  $\vec{V}_{D_5D_4}$  соответственно.

Скорость точки  $H$  определяют по теореме подобия. Так как точка  $E$  неподвижна, то соответствующая ей точка  $e$  на плане скоростей совпадает с полюсом плана точкой  $P$ . Точки  $D_5, E, H$  принадлежат одному 5-ому звену и лежат на одной прямой. Поэтому концы векторов скоростей этих точек (точки  $d_5, e, h$ ) на плане скоростей также лежат на одной прямой в той же последовательности и образуют подобные отрезки. Коэффициент подобия этих отрезков равен  $k_5 = \frac{ed_5}{ED} = \frac{105.3\text{мм}}{63\text{мм}} = 1.67$ . Длины отрезков  $ed_5$  и  $ED$  измеряют на плане скоростей и схеме механизма соответственно. Тогда длина отрезка  $eh = k_5 \cdot EH = 1.67 \cdot 40 = 66.9\text{мм}$ . На плане скоростей вдоль прямой  $ed_5$  откладывают отрезок  $eh$  таким образом, чтобы точки  $d_5, e, h$  располагались в той же последовательности, что и точки  $D_5, E, H$  на плане механизма. Далее изображают скорость  $\vec{V}_H$  направленным отрезком  $\vec{eh}$ .

На плане скоростей измеряют длины отрезков и определяют величины скоростей различных точек механизма

$$V_C = \frac{Pc}{\mu_V} = \frac{114}{50} = 2.28 \frac{\text{м}}{\text{с}}; V_{S_2} = \frac{Ps_2}{\mu_V} = \frac{109.6}{50} = 2.19 \frac{\text{м}}{\text{с}}; V_{D_2} = \frac{Pd_2}{\mu_V} = \frac{109.4}{50} = 2.19 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$V_{D_5} = \frac{Pd_5}{\mu_V} = \frac{105.3}{50} = 2.11 \frac{\text{м}}{\text{с}}; V_H = \frac{Ph}{\mu_V} = \frac{66.9}{50} = 1.34 \frac{\text{м}}{\text{с}}; V_{CB} = \frac{cb}{\mu_V} = \frac{58.6}{50} = 1.17 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$V_{D_5D_4} = \frac{d_5d_4}{\mu_V} = \frac{29.6}{50} = 0.59 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Угловые скорости 2-ого и 5-ого звеньев определяют по формулам

$$\omega_2 = \frac{V_{CB}}{L_{CB}} = \frac{1.17}{0.46} = 2.54c^{-1}, \quad \omega_5 = \frac{V_{D_5}}{L_{ED}} = \frac{2.11}{0.315} = 6.7c^{-1};$$

3-е и 5-ое звенья совершают поступательное движение, поэтому  $\omega_3 = \omega_5 = 0$ ;  
4-ое звено поворачивается вместе со вторым звеном, поэтому  $\omega_4 = \omega_2 = 2.54c^{-1}$ .

Для определения направления угловой скорости 2-ого звена  $\omega_2$  мысленно прикладывают вектор скорости  $\vec{V}_{CB}$  к точке  $C$  звена 2 (см. рис. 4). Тогда видно, что угловая скорость относительного вращения звена 2 вокруг точки  $B$  направлена по часовой стрелке.

Для определения направления угловой скорости 5-ого звена  $\omega_5$  мысленно прикладывают вектор скорости  $\vec{V}_{D_5}$  к точке  $D$  звена 5 (см. рис. 4). Тогда видно, что угловая скорость вращательного движения звена 5 вокруг т. $E$  направлена против часовой стрелки. Направления угловых скоростей  $\omega_2$  и  $\omega_5$  отмечают круговыми стрелками на соответствующих звеньях механизма (см. рис. 4).

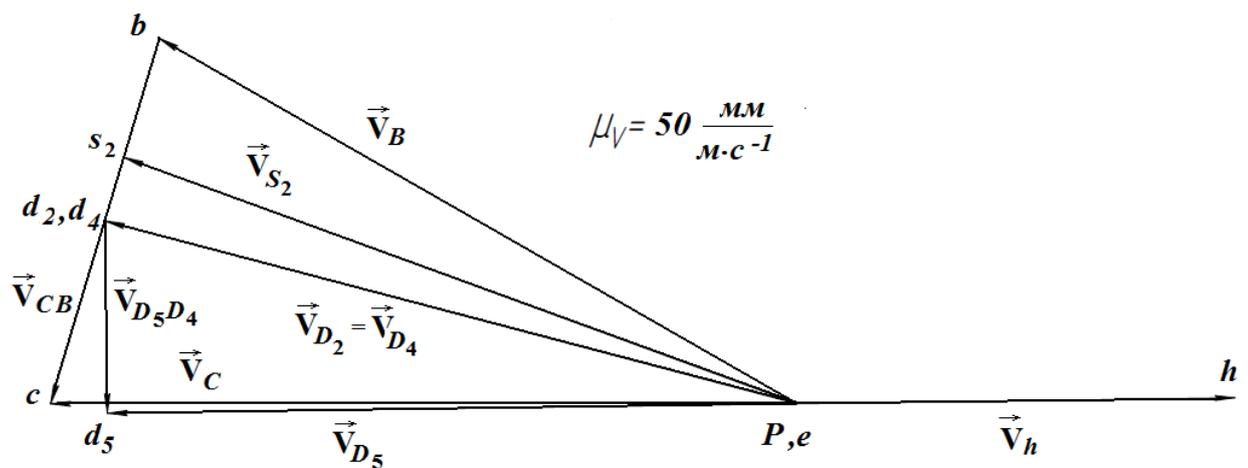


Рис. 5 План скоростей

### 3. Ускорение точек определяют методом построения плана ускорений.

Звено 1 совершает вращательное движение, поэтому ускорение точки  $B$  равно геометрической сумме нормального и касательного ускорений

$$\vec{a}_B = \vec{a}_B^n + \vec{a}_B^\tau.$$

$B \rightarrow C$     $\perp BC$

Нормальное ускорение определяют по формуле

$$a_B^n = \omega_1^2 \cdot L_{AB} = 15^2 \cdot 0.15 = 33.75 \frac{M}{C^2},$$
 касательное – по формуле

$$a_B^\tau = \varepsilon_1 \cdot L_{AB} = 10 \cdot 0.15 = 1.5 \frac{M}{C^2}.$$
 Выбирают масштаб плана ускорений

$$\mu_a = 3 \frac{MM}{M \cdot C^{-2}}.$$
 Тогда длины отрезков, изображающих вектора ускорений  $\vec{a}_B^n$

$$\text{и } \vec{a}_B^\tau, \text{ равны } pb' = a_B^n \cdot \mu_a = 33.75 \cdot 3 = 101 \text{ мм} \text{ и } b'b = a_B^\tau \cdot \mu_a = 1.5 \cdot 3 = 4.5 \text{ мм}.$$

Нормальное ускорение  $a_B^n$  направлено к центру вращения, т.е. от  $B$  к  $A$  (см. рис.4). Касательное ускорение  $\vec{a}_B^\tau$  направлено перпендикулярно линии  $AB$  в сторону углового ускорения  $\varepsilon_1$ .

Для построения плана ускорений на плоскости чертежа (рис. б) в произвольном месте отмечают полюс плана ускорений точку  $\pi$ . На плане изображают ускорения  $\vec{a}_B^n$  и  $\vec{a}_B^\tau$ . Для этого от точки  $\pi$  откладывают отрезок  $\pi b'$  параллельный звену  $AB$  в направлении от  $B$  к  $A$ , а от точки  $b'$  откладывают отрезок  $bb'$  перпендикулярный звену  $AB$  в направлении  $\varepsilon_1$ . Соединяя точки  $\pi$  и  $b$ , получают вектор полного ускорения точку  $B$ .

Для определения ускорения точки  $C$  используют теорему о сложении ускорений при плоскопараллельном движении  $\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}_{CB}^n + \vec{a}_{CB}^\tau.$

$\parallel Ax$     $C \rightarrow B$     $\perp CB$

В этом векторном уравнении ускорение  $\vec{a}_B$  известно по величине и направлению. Ускорения  $\vec{a}_{CB}^n$  и  $\vec{a}_{CB}^\tau$  представляют собой нормальное и

касательное ускорения точки  $B$  при относительном вращении звена 2 вокруг точки  $B$ . Величину нормального ускорения вычисляют по формуле  $a_{CB}^n = \omega_2^2 \cdot L_{BC} = 2.54^2 \cdot 0.46 = 2.97 \frac{M}{c^2}$ . Вектор этого ускорения направлен к центру относительного вращения, т.е. от точки  $C$  к точке  $B$ . Вектор ускорения  $\vec{a}_{CB}^{\tau}$  известен только по направлению ( $\vec{a}_{CB}^{\tau} \perp BC$ ). Точка  $C$  совершает прямолинейное движение вдоль оси  $Ax$ . Ускорение этой точки  $\vec{a}_C$  известно только по направлению ( $\vec{a}_C \parallel Ax$ ).

Для построения плана ускорений (см. рис. 6) от точки  $b$  откладывают отрезок  $bc' = a_{CB}^n \cdot \mu_a = 2.97 \cdot 3 = 8.9 \text{ мм}$  в направлении от точки  $C$  к точке  $B$  (см. рис.4). Далее из точки  $c'$  проводят прямую перпендикулярную звену  $BC$  (по направлению ускорения  $\vec{a}_{CB}^{\tau}$ ), а из точки  $\pi$  – прямую параллельную оси  $Ax$  (по направлению ускорения  $\vec{a}_C$ ). На пересечении этих прямых лежит точка  $c$ . Образовавшиеся отрезки  $\pi c$  и  $c's$  изображают ускорения  $\vec{a}_C$  и  $\vec{a}_{CB}^{\tau}$  соответственно.

Ускорения точек  $S_2$  и  $D_2$  определяют по теореме подобия. Точки  $B, C, S_2, D$  принадлежат одному 2-му звену и расположены на отрезке  $BC$  (см. рис. 4). По теореме подобия концы векторов ускорений этих точек ( $b, c, s_2, d_2$ ) также расположены на одной прямой и образуют подобные и одинаково расположенные отрезки (см.рис. 6). На плане ускорений измеряют длину отрезка  $bc$  ( $bc = 86.9 \text{ мм}$ ). Коэффициент подобия указанных отрезков  $bc$  и  $BC$  равен  $k_1 = \frac{bc}{BC} = \frac{86.9}{92} = 0.945$ . Длины отрезков

$bs_2$  и  $bd_2$  определяют через коэффициент подобия  $bs_2 = k_1 \cdot BS_2 = 0.945 \cdot 30 = 28.3 \text{ мм}$ ,  $bd_2 = k_1 \cdot BD = 0.945 \cdot 46 = 43.5 \text{ мм}$ . Далее откладывают полученные отрезки на плане ускорений и изображают вектора ускорений рассматриваемых точек  $S_2$  и  $D_2$  направленными

отрезками  $\vec{ps}_2$  и  $\vec{pd}_2$ . Так как точка  $D_4$ , принадлежащая 4 звену, перемещается вместе с точкой  $D_2$ , принадлежащей 2 звену, то  $\vec{a}_{D_4} = \vec{a}_{D_2}$ .

Ускорение точки  $D_5$  определяют по теореме о сложении ускорений при сложном движении точки. Как и при определении скоростей, неподвижная система координат жестко связана со стойкой, подвижная система координат – со звеном 4. Абсолютное ускорение рассматриваемой точки  $D_5$  определяют

$$\vec{a}_{D_5}^n + \vec{a}_{D_5}^\tau = \vec{a}_{D_4} + \vec{a}_{D_5D_4}^K + \vec{a}_{D_5D_4}^\parallel$$

Переносное ускорение  $\vec{a}_{D_4}$  известно по величине и направлению. Относительное ускорение  $\vec{a}_{D_5D_4}$  известно только по направлению  $\vec{a}_{D_5D_4}^\parallel \parallel DE$ . В абсолютном движении точка  $D_5$  движется вместе со звеном 5, которое совершает вращательное движение. Нормальное ускорение этой точки равно  $a_{D_5}^n = \omega_5^2 \cdot L_{ED} = 6.7^2 \cdot 0.315 = 14.1 \frac{M}{c^2}$  и направлено к центру вращения, т.е. от точки  $D$  к точке  $E$  (см. рис. 4). Угловое ускорение рассматриваемого 5 звена неизвестно, поэтому ускорение  $\vec{a}_{D_5}^\tau$  известно только по направлению ( $\vec{a}_{D_5}^\tau \perp DE$ ).

Величину ускорения Кориолиса определяют по формуле  $a_{D_5D_4}^K = 2 \cdot \omega_{пер} \cdot V_{отн} \cdot \sin(\vec{\omega}_{пер} \times \vec{V}_{отн})$ . Подвижная система координат жестко связана со звеном 4, поэтому  $\omega_{пер} = \omega_4$ . Для плоского механизма  $\sin(\vec{\omega}_{пер} \times \vec{V}_{отн}) = 1$ . Окончательно формула для определения ускорения

Кориолиса примет вид  $a_{D_5D_4}^K = 2 \cdot \omega_4 \cdot V_{D_5D_4}$ . Значение

$a_{D_5D_4}^K = 2 \cdot 6.7 \cdot 0.59 = 7.9 \frac{M}{c^2}$ . Направление ускорения Кориолиса определяют

по правилу Жуковского поворотом вектора относительной скорости  $\vec{V}_{D_5D_4}$  на

угол  $90^\circ$  в сторону угловой скорости переносного движения  $\omega_4$  (см. рис. 6).  
Относительное ускорение известно только по направлению  $\vec{a}_{D_5D_4} \parallel \vec{ED}$ .

Для построения плана ускорений (см. рис. 6) от точки  $d_2$  откладывают отрезок  $d_2d_5'' = a_{D_5D_4}^K \cdot \mu_a = 7.9 \cdot 3 = 23.7 \text{ мм}$  в направлении ускорения Кориолиса. Далее от точки  $\pi$  откладывают отрезок  $\pi d_5' = a_{D_5}^n \cdot \mu_a = 14.1 \cdot 3 = 42.3 \text{ мм}$  в направлении от точки  $D$  к точке  $E$  (по направлению ускорения  $\vec{a}_{D_5}^n$ ). Из полученной точки  $d_5'$  проводят прямую линию перпендикулярную звену  $DE$  (по направлению ускорения  $\vec{a}_{D_5}^r$ ). Из точки  $d_5''$  проводят прямую линию параллельную звену  $DE$  (по направлению относительного ускорения  $\vec{a}_{D_5D_4}$ ). На пересечении этих прямых линий лежит точка  $d_5$ . Образовавшиеся отрезки  $\pi d_5$ ,  $d_5''d_5$  и  $d_5'd_5$  изображают ускорения  $\vec{a}_{D_5}$ ,  $\vec{a}_{D_5D_4}$  и  $\vec{a}_{D_5}^r$  соответственно.

Ускорение точки  $H$  определяют по теореме подобия. Точка  $E$  неподвижна, поэтому соответствующая ей точка  $e$  на плане ускорений совпадает с полюсом плана точкой  $\pi$ . Точки  $D_5, E, H$  принадлежат одному 5-ому звену и лежат на одной прямой. Поэтому концы векторов ускорений этих точек (точки  $d_5, e, h$ ) на плане ускорений также лежат на одной прямой в той же последовательности и образуют подобные отрезки. Коэффициент подобия этих отрезков равен  $k_5 = \frac{ed_5}{ED} = \frac{48.2 \text{ мм}}{63 \text{ мм}} = 0.76$ . Длину отрезков  $ed_5$  измеряют на плане ускорений. Тогда длина отрезка  $eh = k_5 \cdot EH = 0.76 \cdot 40 = 30.4 \text{ мм}$ . На плане ускорений вдоль прямой  $ed_5$  откладывают отрезок  $eh$  таким образом, чтобы точки  $d_5, e, h$  располагались в той же последовательности, что и точки  $D_5, E, H$  на плане механизма. Далее изображают ускорение  $\vec{a}_H$  направленным отрезком  $\vec{eh}$

На плане ускорений измеряют длины отрезков и определяют величины ускорений различных точек механизма

$$a_C = \frac{\pi c}{\mu_a} = \frac{38.6}{3} = 12.9 \frac{м}{с^2}; \quad a_{S_2} = \frac{\pi s_2}{\mu_a} = \frac{75.9}{3} = 25.3 \frac{м}{с^2}; \quad a_{D_2} = \frac{\pi d_2}{\mu_a} = \frac{63.2}{3} = 21 \frac{м}{с^2};$$

$$a_{D_5} = \frac{\pi d_5}{\mu_a} = \frac{48.5}{3} = 16.2 \frac{м}{с^2}; \quad a_H = \frac{\pi h}{\mu_a} = \frac{30.8}{3} = 10.3 \frac{м}{с^2}; \quad a_{CB}^\tau = \frac{c'c}{\mu_a} = \frac{86.4}{3} = 28.8 \frac{м}{с^2};$$

$$a_{D_5}^\tau = \frac{d_5 d_5'}{\mu_a} = \frac{23.5}{3} = 7.8 \frac{м}{с^2}.$$

Угловые ускорения 2-ого и 5-ого звеньев определяют по формулам

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{CB}^\tau}{L_{CB}} = \frac{28.8}{0.46} = 62.6 с^{-2}, \quad \varepsilon_5 = \frac{a_{D_5}^\tau}{L_{ED}} = \frac{7.8}{0.315} = 24.8 с^{-2}; \quad 3\text{-е} \quad \text{и} \quad 5\text{-ое} \quad \text{звенья}$$

совершают поступательное движение, потому  $\varepsilon_3 = \varepsilon_5 = 0$ ; 4-ое звено поворачивается вместе со вторым звеном, поэтому  $\varepsilon_4 = \varepsilon_2 = 2.54 с^{-2}$ .

Для определения направления углового ускорения 2-ого звена  $\varepsilon_2$  мысленно прикладывают вектор ускорения  $\vec{a}_{CB}^\tau$  к точке  $C$  звена 2 (см. рис. 4). Тогда видно, что угловое ускорение относительного вращения звена 2 вокруг точки  $B$  направлено против часовой стрелки.

Для определения направления углового ускорения 5-ого звена  $\omega_5$  мысленно прикладывают вектор скорости  $\vec{a}_{D_5}^\tau$  к точке  $D$  звена 5 (см. рис. 4). Тогда видно, что угловое ускорение вращательного движения звена 5 вокруг т.  $E$  направлено против часовой стрелки. Направления угловых ускорений  $\varepsilon_2$  и  $\varepsilon_5$  отмечают круговыми стрелками на соответствующих звеньях механизма (см. рис. 4).

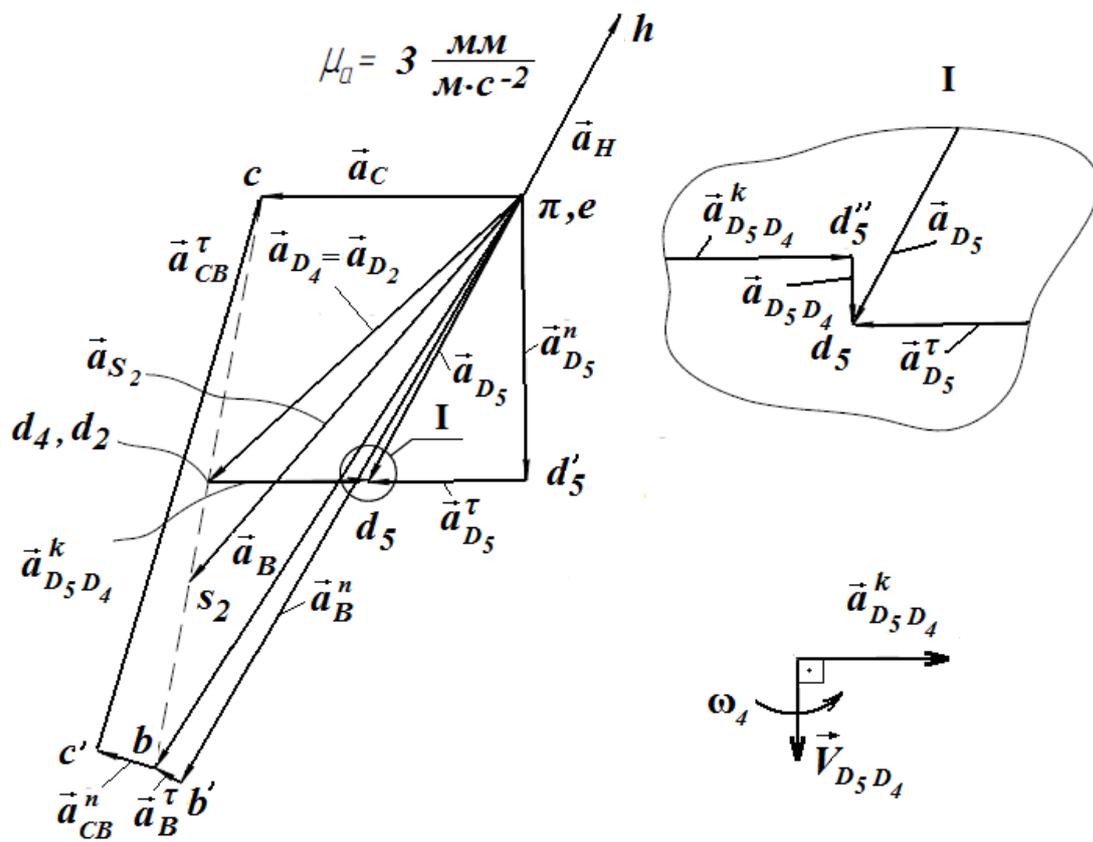


Рис.6 План ускорений

## **Литература**

1. Теория механизмов и машин / Под. ред. К.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1998. – 496 с., ил.

2. Теория механизмов и машин: Учеб. Пособие / Г.А. Тимофеев, С.А. Попов, В.А. Никоноров и др.; Под. ред. Г.А. Тимофеева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 96с., ил.