

**Проектирование многоприбойных батанных механизмов  
по заданным положениям батана и кривошипа**

Рыбаков В.А., Сысоева Е.К.

( Костромской государственный технологический университет )

Аннотация: вывод уравнений синтеза батанных механизмов с 2-3-4х кратным прибоем уточной нити при наложении ограничений на базовые опорные точки и наиболее трудоемкие в изготовлении звенья.

Ключевые слова: многоприбойный батанный механизм, уравнения синтеза по положениям.

Задачи синтеза шарнирно-рычажных механизмов в теории механизмов разделяются на две группы: задачи синтеза по положениям и задачи по воспроизведению непрерывной функции на заданном отрезке. В первой группе задач параметры кинематической схемы механизма определяются из условия, что нескольким заданным положениям ведущего звена соответствуют заданные положения ведомого звена. Во второй группе задач параметры схемы механизма определяются из условия, что механизм приближенно, но с необходимой точностью, воспроизводит предписанную непрерывную функцию на заданном отрезке.

В настоящее время существует большое многообразие аналитических, графоаналитических и графических методов решения задач синтеза шарнирно-рычажных механизмов. Применительно к батанным механизмам с 2-4х кратным прибоем важной практической задачей является преобразование обычного четырехзвенного батанного механизма в 6-8ми звенный, предназначенный для выполнения каких-либо специальных требований [1]. При такой реконструкции должны сохраняться главные параметры модернизируемого батанного механизма - угол поворота (размах) и длина коромысла, которое является батаном. В практике проектирования батанных механизмов

наибольшее распространение получила задача синтеза по двум положениям, реже – по трем. Однако, эта задача может быть решена для четырех и пяти заданных положений батана и кривошипа механизма. При задании шести положений ведущего и ведомого звена задача синтеза четырехзвенника в общем случае не имеет решения, так как при задании шести положений плоской фигуры нельзя найти такой точки, которая при этом своими положениями располагалась бы на одной окружности.

Следует отметить, что в конструкторской практике методы геометрического синтеза шарнирно-рычажных механизмов не получили широкого распространения, так как требуют специальных знаний кинематической геометрии плоского движения и при проектировании для выбора решения, соответствующего определенным конструктивным и технологическим условиям, приходится многократно повторять сложные геометрические построения. Поэтому наибольшее применение нашли аналитические методы синтеза, отличающиеся большим разнообразием и основывающиеся на различных методах математики. Они обеспечивают наиболее высокую точность определения искомых величин в каждый момент времени действия механизма. Исключительным преимуществом аналитических методов с применением современных ПЭВМ является высокая их производительность и возможность представлять графическую интерпретацию исследуемых зависимостей – графиков, траекторий движения точек и звеньев в различных ракурсах и масштабах.

Нашей целью является совершенствование методики проектирования батанных механизмов с 2-3-4х кратным прибоем уточной нити при наложении ограничений на базовые опорные точки и наиболее трудоемкие в изготовлении звенья.

Рассмотрим аналитическое решение [2] задачи о положениях, необходимое в дальнейшем для разработки методики проектирования многоприбойных батанных механизмов.

Представим стороны четырехзвенника ABCD в виде векторов  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}, \vec{d}$  (рис. 1).

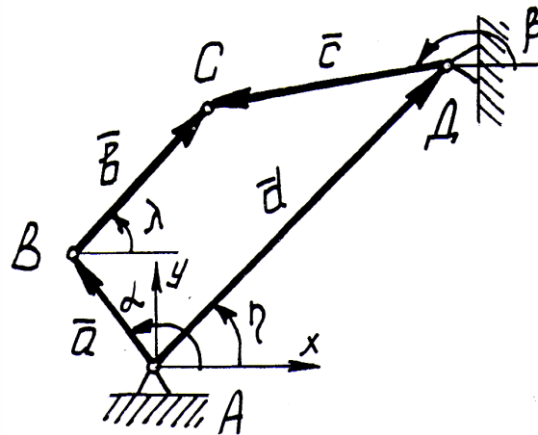


Рис. 1

При этом имеем  $\vec{a} + \vec{b} = \vec{c} + \vec{d}$  (1)

Проектируя обе части векторного уравнения (1) на оси  $Ax$  и  $Ay$ , получаем для произвольного  $i$ -го положения механизма уравнения проекций в виде

$$\begin{cases} a \cos \alpha_i + b \cos \lambda_i = c \cos \beta_i + d \cos \eta \\ a \sin \alpha_i + b \sin \lambda_i = c \sin \beta_i + d \sin \eta \end{cases} \quad (2)$$

Где  $\alpha_i, \lambda_i, \beta_i$  - углы, образованные соответствующими векторами с осью  $Ax$ ,  $\eta$  - угол наклона стойки  $AD$  к оси  $Ax$ .

Из уравнения (2) получаем

$$\begin{cases} b \cos \lambda_i = c \cos \beta_i + d \cos \eta - a \cos \alpha_i \\ b \sin \lambda_i = c \sin \beta_i + d \sin \eta - a \sin \alpha_i \end{cases} \quad (3)$$

Возводим почленно уравнения (3) в квадраты и складываем их.

$$\begin{aligned} b^2 \cos^2 \lambda_i + b^2 \sin^2 \lambda_i &= c^2 \cos^2 \beta_i + 2cd \cos \beta_i \cos \eta - 2ac \cos \alpha_i \cos \beta_i + \\ &+ d^2 \cos^2 \eta - 2ad \cos \alpha_i \cos \eta + a^2 \cos^2 \alpha_i + c^2 \sin^2 \beta_i + 2cd \sin \beta_i \sin \eta - \\ &- 2ac \sin \alpha_i \sin \beta_i + d^2 \sin^2 \eta - 2ad \sin \alpha_i \sin \eta + a^2 \sin^2 \alpha_i \end{aligned} \quad (4)$$

Преобразуя (4), получаем

$$\cos(\alpha_i - \eta) - \frac{c}{a} \cos(\beta_i - \eta) + \frac{c}{d} \cos(\beta_i - \alpha_i) - \frac{a^2 - b^2 + c^2 + d^2}{2ad} = 0 \quad (5)$$

Пусть  $-\frac{c}{a} = f_1, \quad \frac{c}{d} = f_2, \quad -\frac{a^2 - b^2 + c^2 + d^2}{2ad} = f_3$

Тогда уравнение (5) примет вид:

$$\cos(\alpha_i - \eta) + f_1 \cos(\beta_i - \eta) + f_2 \cos(\beta_i - \alpha_i) + f_3 = 0 \quad (6)$$

Назовем уравнение (6) уравнением  $i$ -го положения четырехзвенника и рассмотрим задачу о проектировании многозвенного батанного механизма по заданным положениям батана и кривошипа [3].

Положения батана и кривошипа определяются углами  $\gamma_i$  и  $\alpha_i$ , которые задаются в соответствии с желаемым законом движения батана  $\gamma = f(\alpha)$ . Углы  $\gamma_i$  и  $\alpha_i$  следует задавать для характерных положений механизма и по этим условиям проводить синтез. Так батанный механизм с двойным прибоем точной нити имеет четыре характерных положения: I прибой, межприбойный отход, II прибой, заднее положение и соответствующие им углы  $\alpha_1, \gamma_1, \alpha_2, \gamma_2, \alpha_3, \gamma_3, \alpha_4, \gamma_4$ , (рис. 2), а батанные механизмы с 3х кратным и 4х кратным прибоем имеют соответственно 6 и 8 характерных положений (рис. 3, 4).

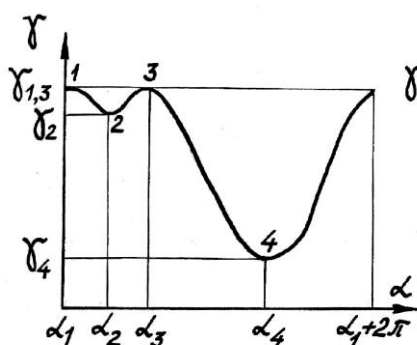


Рис. 2.

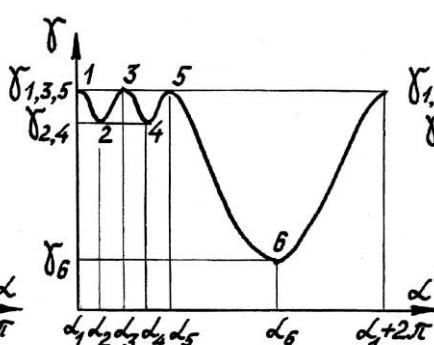


Рис. 3.

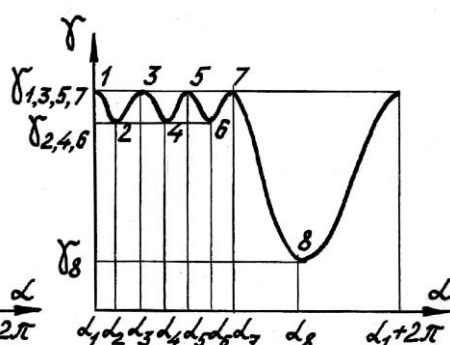


Рис. 4.

Батанные механизмы с 2-3-4х кратным прибоем [4] могут быть представлены как совокупность нескольких четырехзвенников (рис. 5, 6).

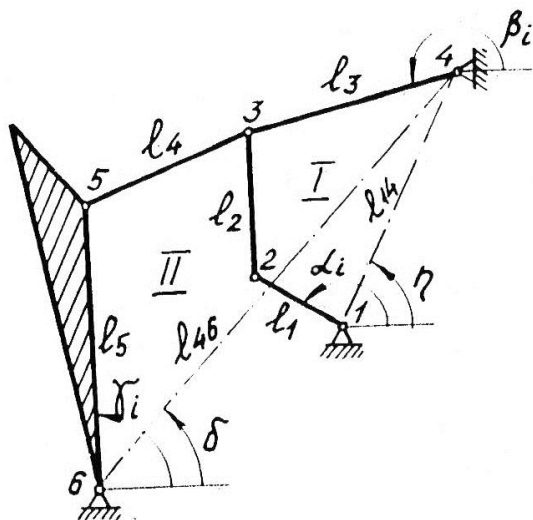


Рис. 5.

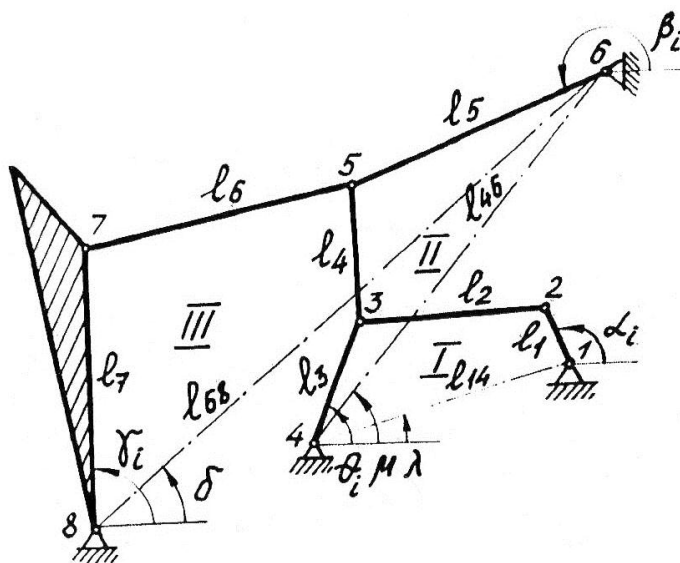


Рис.6.

Рис. 2-6. К выводу уравнений положения многоприбойных батанных механизмов

Устанавливая для характерных положений механизма связь между размерами звеньев и углами, образованными звеньями отдельных четырехзвенников с выбранными осями координат, можно путем последовательного перехода определить зависимость между положениями ведущих и ведомых звеньев в форме уравнений (6).

Сначала проведем синтез шестизвенного батанного механизма с двойным прибоем, как базового, по отношению к другим, вариантам. Введем относительные размеры, разделив длины всех звеньев на длину кривошипа  $l_1$ :

$$a = \frac{l_1}{l_1}, \quad b = \frac{l_2}{l_1}, \quad c = \frac{l_3}{l_1}, \quad d = \frac{l_{14}}{l_1}, \quad e = \frac{l_4}{l_1}, \quad n = \frac{l_5}{l_1}, \quad p = \frac{l_{46}}{l_1}$$

Запишем уравнение в форме (6) для характерных положений рассматриваемого механизма (рис. 7).

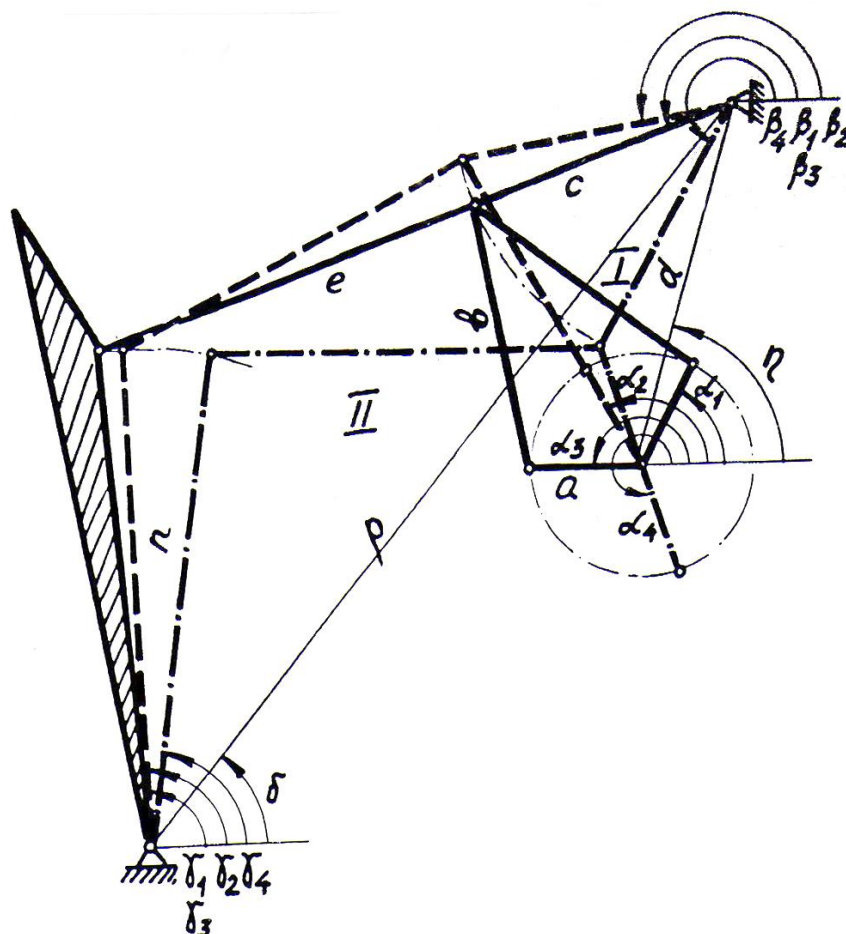


Рис. 7.

Для каждого четырехзвенника, образующего данный механизм, имеем 4 уравнения. Итого 8 уравнений:

$$\cos(\alpha_1 - \eta) + f_1 \cos(\beta_1 - \eta) + f_2 \cos(\beta_1 - \alpha_1) + f_3 = 0 \quad (7)$$

$$\cos(\alpha_2 - \eta) + f_1 \cos(\beta_2 - \eta) + f_2 \cos(\beta_2 - \alpha_2) + f_3 = 0 \quad (8)$$

$$\cos(\alpha_3 - \eta) + f_1 \cos(\beta_3 - \eta) + f_2 \cos(\beta_3 - \alpha_3) + f_3 = 0 \quad (9)$$

$$\cos(\alpha_4 - \eta) + f_1 \cos(\beta_4 - \eta) + f_2 \cos(\beta_4 - \alpha_4) + f_3 = 0 \quad (10)$$

$$\cos(\gamma_1 - \delta) + f_4 \cos(\beta_1 - \delta) + f_5 \cos(\beta_1 - \gamma_1) + f_6 = 0 \quad (11)$$

$$\cos(\gamma_2 - \delta) + f_4 \cos(\beta_2 - \delta) + f_5 \cos(\beta_2 - \gamma_2) + f_6 = 0 \quad (12)$$

$$\cos(\gamma_3 - \delta) + f_4 \cos(\beta_3 - \delta) + f_5 \cos(\beta_3 - \gamma_3) + f_6 = 0 \quad (13)$$

$$\cos(\gamma_4 - \delta) + f_4 \cos(\beta_4 - \delta) + f_5 \cos(\beta_4 - \gamma_4) + f_6 = 0 \quad (14)$$

Здесь коэффициенты  $f_1 \div f_6$  определяются выражениями:

$$\begin{aligned} f_1 &= -\frac{c}{a}, \quad f_2 = \frac{c}{d}, \quad f_3 = -\frac{a^2 - b^2 + c^2 + d^2}{2ad} \\ f_4 &= -\frac{c}{n}, \quad f_5 = \frac{c}{p}, \quad f_6 = -\frac{p^2 - e^2 + c^2 + n^2}{2np}. \end{aligned} \quad (15)$$

Так как при I и II приборах батан занимает одно и то же крайнее положение, то  $\gamma_1 = \gamma_3$  и  $\beta_1 = \beta_3$ . В результате этого уравнения (11) и (13) совпадают и окончательно получим 7 уравнений, которые с учетом выражений (15) имеют вид:

$$\cos(\alpha_1 - \eta) - \frac{c}{a} \cos(\beta_1 - \eta) + \frac{c}{d} \cos(\beta_1 - \alpha_1) - \frac{d^2 + c^2 - b^2 + a^2}{2ad} = 0 \quad (16)$$

$$\cos(\alpha_2 - \eta) - \frac{c}{a} \cos(\beta_2 - \eta) + \frac{c}{d} \cos(\beta_2 - \alpha_2) - \frac{d^2 + c^2 - b^2 + a^2}{2ad} = 0 \quad (17)$$

$$\cos(\alpha_3 - \eta) - \frac{c}{a} \cos(\beta_3 - \eta) + \frac{c}{d} \cos(\beta_3 - \alpha_3) - \frac{d^2 + c^2 - b^2 + a^2}{2ad} = 0 \quad (18)$$

$$\cos(\alpha_4 - \eta) - \frac{c}{a} \cos(\beta_4 - \eta) + \frac{c}{d} \cos(\beta_4 - \alpha_4) - \frac{d^2 + c^2 - b^2 + a^2}{2ad} = 0 \quad (19)$$

$$\cos(\gamma_1 - \delta) - \frac{c}{n} \cos(\beta_1 - \delta) + \frac{c}{p} \cos(\beta_1 - \gamma_1) - \frac{p^2 + c^2 - e^2 + n^2}{2np} = 0 \quad (20)$$

$$\cos(\gamma_2 - \delta) - \frac{c}{n} \cos(\beta_2 - \delta) + \frac{c}{p} \cos(\beta_2 - \gamma_2) - \frac{p^2 + c^2 - e^2 + n^2}{2np} = 0 \quad (21)$$

$$\cos(\gamma_4 - \delta) - \frac{c}{n} \cos(\beta_4 - \delta) + \frac{c}{p} \cos(\beta_4 - \gamma_4) - \frac{p^2 + c^2 - e^2 + n^2}{2np} = 0 \quad (22)$$

Уравнения (16–22) составляют математическую модель синтезируемого батанного механизма. При этом количестве искоемых параметров синтеза не должно превышать семи. Известные и искомые величины определяются в зависимости от конкретной задачи синтеза. Очень часто при создании новых конструкций многоприбойных батанных механизмов и модернизации дей-

ствующих возникает задача их проектирования на основе базовых опорных точек, то есть необходимо «вписаться» в существующую конструкцию станка без изменения базовых размеров станины -  $L_1, \gamma_1, L_1, H_2(d, \eta, p, \delta)$ . С другой стороны, проектирование батанного механизма следует проводить при условии технологически благоприятных параметров, характеризующих процессы прибоа и прокладывания уточной нити – величины межприбойного отхода и отхода батана в заднее положение. Кроме того, по сравнению с базовым механизмом желательно оставить неизменяемыми длины кривошипа и батана, как наиболее трудоемких в изготовлении звеньев.

С учетом вышеизложенного в рассматриваемом батаном механизме с двойным прибоем задаем  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \gamma_1 = \gamma_3, \gamma_2, \gamma_4, a, d, n, p, \eta, \delta$  и определяем  $b, c, e, \beta_1 = \beta_3, \beta_2, \beta_4$ .

Здесь уместно отметить, что поскольку каждое из уравнений (16-22) является нелинейным трансцендентным уравнением, то следует, по возможности, уравнения, характеризующие крайние положения механизма (например, положение I и II прибоа, когда звенья  $c$  и  $e$  вытягиваются в общую прямую линию) заменять линейными уравнениями, определяемыми из решения соответствующих контуров через известные величины. Так уравнение (20) можно заменить уравнением  $c + e = \sqrt{n^2 + p^2 + 2np \cos(\gamma_1 - \delta)} = q$ . Такая замена ведет к упрощению системы уравнений и повышению точности получаемого решения.

Для батанных механизмов с 3х и 4х кратным прибоем имеем три четырехзвенника (рис. 8, 9) и аналогичные уравнения вида (6), в которых

$$a = \frac{l_1}{l_1}, \quad b = \frac{l_2}{l_1}, \quad c = \frac{l_5}{l_1}, \quad d = \frac{l_{16}}{l_1}, \quad e = \frac{l_6}{l_1}, \quad n = \frac{l_7}{l_1}, \quad p = \frac{l_{68}}{l_1}, \quad m = \frac{l_4}{l_1}, \quad k = \frac{l_3}{l_1},$$

$$l = \frac{l_{46}}{l_1}, \quad h = \frac{l_{14}}{l_1}, \quad f_1 = -\frac{k}{a}, \quad f_2 = \frac{k}{h}, \quad f_3 = -\frac{h^2 + k^2 - b^2 + a^2}{2ah}, \quad f_4 = -\frac{c}{k}, \quad f_5 = \frac{c}{l}$$

$$, \quad f_6 = -\frac{l^2 + c^2 - m^2 + k^2}{2kl}, \quad f_7 = -\frac{c}{n}, \quad f_8 = \frac{c}{p}, \quad f_9 = -\frac{p^2 + c^2 - e^2 + n^2}{2np}$$



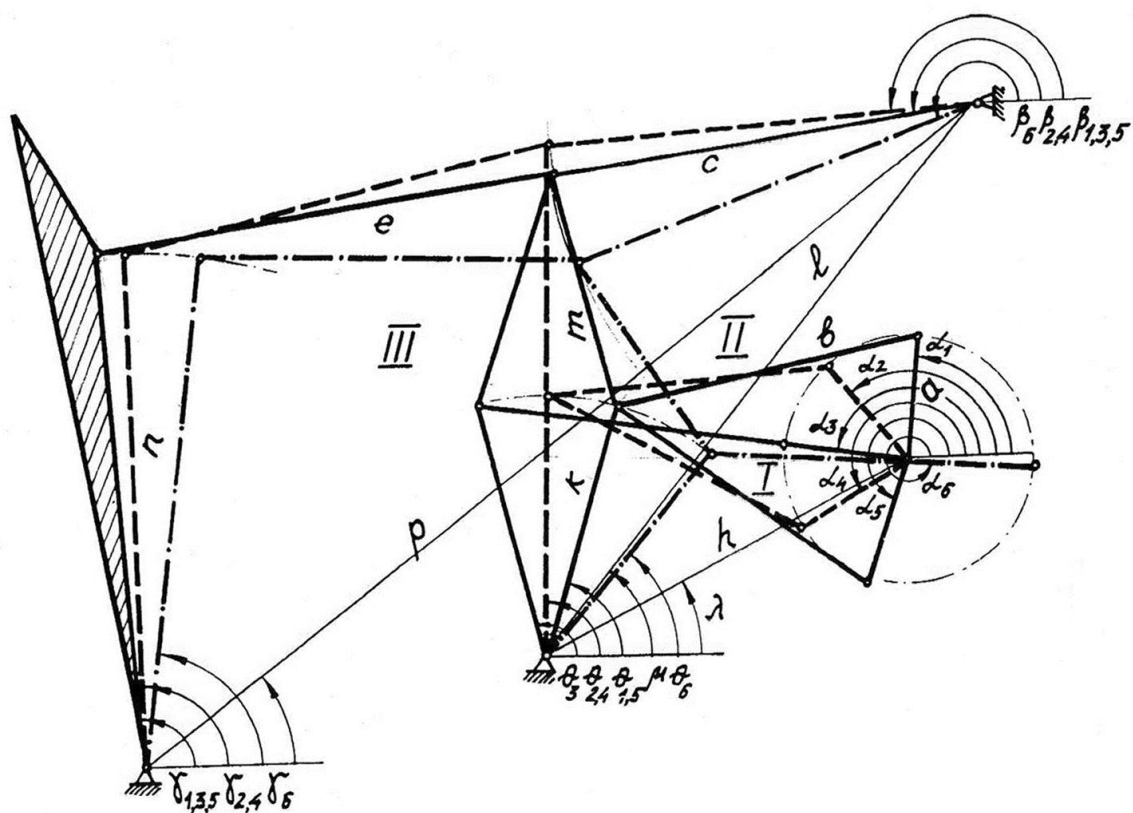


Рис. 8

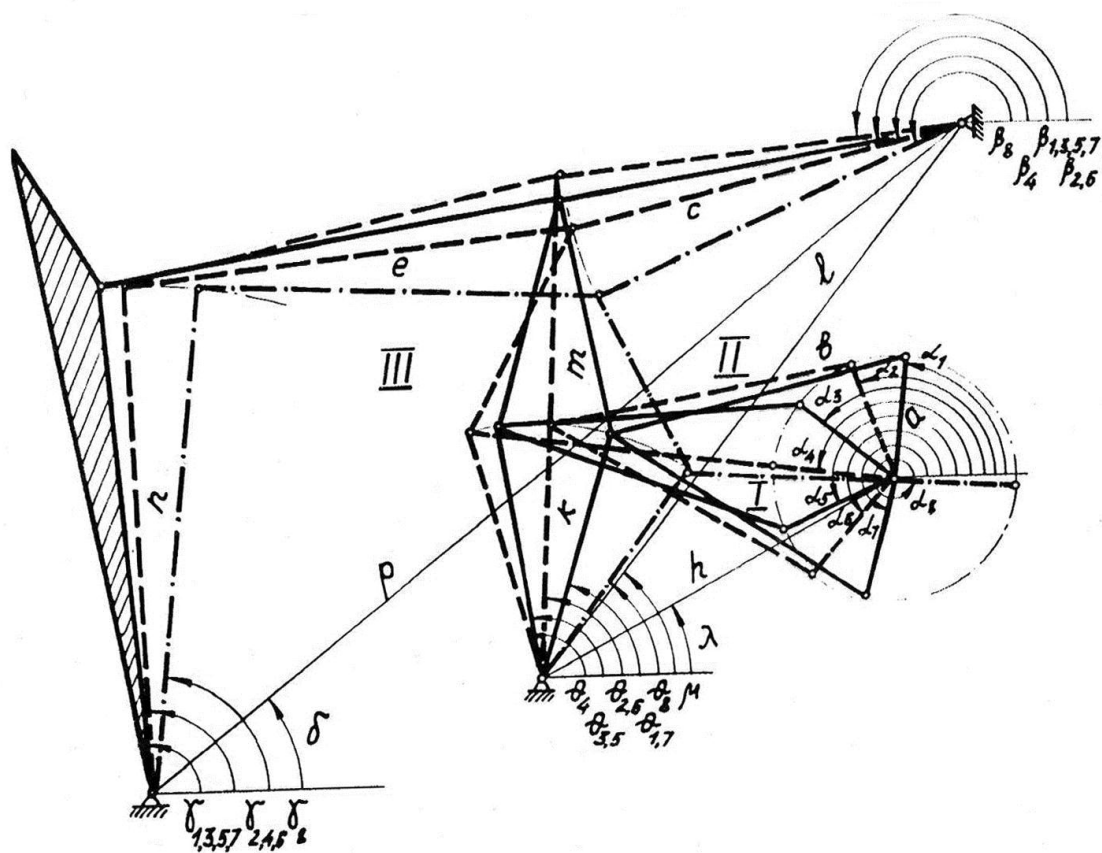


Рис. 9

Рис. 7- 9 К выводу уравнений положения многоприбойных батанных механизмов

Полученные уравнения положения являются нелинейными трансцендентными уравнениями. Их решение может проводиться различными методами. В частности, для решения уравнений синтеза мы исследовали возможность использования градиентного метода, метода Стеффенсона и обобщенного метода Ньютона [5]. Решение проводилось по стандартным программам для нескольких контрольных примеров 4-6-8-звенных механизмов с разным начальным приближением.

Результаты показали, что градиентный метод применим только для синтеза 4х звенных батанных механизмов при ограниченном количестве заданных положений (не более четырех). Это связано с тем, что минимизируемая функция, равная сумме квадратов левых частей уравнений получается сложной и вычисление частных производных функций, на чем основан градиентный метод, затруднительно. Метод Стеффенсона применим, но он чувствителен к выбору начального приближения и, кроме того, имеет медленную сходимость. С этой точки зрения самым эффективным оказался обобщенный метод Ньютона, скорость сходимости которого квадратична. Данный метод вдали от решения ведет себя как градиентный, а при приближении к решению переходит в обычный метод Ньютона. Начальное приближение может быть грубым. Так, например, при задании начального приближения с разницей в 30-40% от решения и точности  $E = 10^{-4}$  для получения решения требуется 5-7 итераций.

## Выводы

Рассматривая многозвенный батанный механизм как совокупность соединения  $n$ -го количества 4х звенников и устанавливая связь между углами ориентации входных и выходных звеньев в форме уравнений положения, можно получить систему уравнений для синтеза батанных механизмов с 2-3-4х кратным прибором и выполнять проектирование этих механизма при условии технологически благоприятных задаваемых параметров прибора– величины межприбойного отхода и отхода батана в заднее положение.

### Литература

1. Рыбаков В.А. Исследование и методы проектирования механизмов прокладывания и прибора утка на модернизированном ковроткацком станке: Дисс... к.т.н. – Кострома, 1982, -275 с.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М., «Наука», 1975, - 640 с.
3. Аносов В.Н., Рыбаков В.А. Синтез многозвенных механизмов по положениям. Тезисы докл. Всесоюз. съезда по ТММ. Одесса, 1982.
4. Рыбаков В.А., Мартышенко В.А. Разработка кинематических схем многоприбойных батанных механизмов. Известия вузов «Технология текстильной пром-ти» №2, 1984.
5. Рыбаков В.А. Использование ЭВМ при решении задач синтеза батанных механизмов. Сб. статей «Современная техника и технология текстильного производства». Иваново, 1984.