

УДК 621.01

А.А. Джомартов, д.т.н., зам. директора

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦИКЛОГРАММЫ МЕХАНИЗМОВ МАШИНЫ-АВТОМАТА С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ЕЕ МЕХАНИЗМОВ

Институт механики и машиноведения, Алматы, Казахстан

Отримано математична модель руху машини-автомата спільно з циклограмою механізмів, яка пов'язує рівняння описують динаміку машини-автомата з параметрами циклограм через функції положення та передавальні функції механізмів. Циклограма машини-автомата моделюється шляхом подання циклограми у вигляді векторних багатокутників, зберігаючи при цьому наочність існуючих лінійних циклограм.

Введение. Циклограмма машины выражает последовательность операций, выполняемых механизмами в зависимости от углового перемещения главного вала. Циклограмма дает возможность определить состояние покоя или движения каждого исполнительного органа при любом положении главного вала.

От правильного синтеза циклограммы зависит производительность и надежность машины-автомата [2]. Поэтому вопросам проектирования циклограмм посвящено много научных работ. Подробный анализ работ по теории циклограммирования, выполненных до 1965 года, приведен в работе [1].

Циклограммирование современных машин-автоматов [1] требует учета физических свойств обрабатываемых материалов, температурных условий, упругости звеньев, точности изготовления и монтажа деталей, накопления и использования информации в процессе обработки при наличии обратных связей.

Различаются круговые, прямоугольные, линейные, синхронные, синангулярные в зависимости от способа графического изображения [1].

Л. В. Петрокас [1] выполнил динамический анализ циклограмм наборных полуавтоматов, причем совмещение экспериментальных динамограмм с циклограммами позволило определить производственные сопротивления, зависящие от технологических факторов.

Ограниченность всех указанных графических способов изображения циклограмм заключается в том, что они не несут достаточной информации, необходимой для перестройки циклограммы. Указанные циклограммы могут использоваться только при наладке машин, но не позволяют построить алгоритм перестройки циклограмм, пригодный для реализации на ЭВМ.

Наиболее современными методами моделирования циклограмм являются два метода: сетевой [3] и представление циклограмм в виде связанного ориентированного графа [4].

Для выявления взаимосвязей между движениями исполнительных органов сложных машин-автоматов и синтеза рациональной циклограммы, строят безмасштабную модель машинного технологического процесса [4] по типу систем сетевого планирования и управления. Недостатками сетевого метода являются плохая наглядность, непригодность алгоритма оптимизации, основанного на системах сетевого планирования и управления для циклически работающих механизмов, не отражаются необходимые взаимоотношения, для перестройки циклограмм.

Указанные недостатки устранены в работе [4], где циклограмму машины представляют в виде связанного ориентированного графа, сохранив при этом наглядность существующих линейных циклограмм и главное достоинство графов - использование ЭВМ для их обработки. Недостатками данного метода являются отсутствие учета связей по перемещениям исполнительных органов механизмов, учета точности изготовления и работы механизмов при синтезе циклограммы. За критерий оптимизации циклограммы выбирается только цикловая производительность машины-автомата.

Анализ приведенных методов синтеза и анализа циклограммы механизмов машины-автомата показал необходимость дальнейшего развития методов оптимизации циклограммы с учетом точности изготовления и работы механизмов машины-автомата, связей по перемещениям исполнительных органов механизмов, динамики механизмов машины-автомата.

1. Векторная модель циклограммы механизмов машины-автомата. Циклограмму машины-автомата можно представить в виде векторных многоугольников [5], сохранив при этом наглядность существующих линейных циклограмм и возможности использования ЭВМ для оптимизации циклограмм механизмов машин с учетом точности их изготовления и работы, а также взаимодействия механизмов друг с другом. Для получения математической модели о взаимодействии механизмов

машины-автомата друг с другом введем вместо отрезков линейной циклограммы вектора (рис.1) последовательно соединенные между собой, причем вектора направлены последовательно от одного положения к другому – обозначим вектора буквой $\vec{\ell}_{ij}$, n - число механизмов, i - номер механизма, j - номер положения i -го механизма, m_j - число положений i -го механизма.

Причем проекция векторов $\vec{\ell}_{ij}$ на ось X характеризует α_{ij} – фазовые углы срабатывания механизмов, а проекция на ось Y указывает величину хода δ_{ij} j -го положения i -го механизм, которую вводим как безразмерную величину $\delta_{ij} = \frac{S_{ij}}{S_{\max}}$, $S_{\max} = \max S_{ij}$, $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m_i$, где S_{ij} – ход j -го положения i -го механизма (размерная величина).

Введем вектор \vec{P} соединяющий точки начала и конца цикла. Проекция вектора \vec{P} на ось X равна 2π , на ось Y равна нулю. При исследовании циклограммы машины-автомата необходимо учитывать технологические и конструктивные ограничения, т.е. точность изготовления и работы механизмов, а также взаимосвязь работы механизмов между собой. Взаимодействие механизмов друг с другом отразим в виде векторов связи \vec{c}_{ik} , где $k = 1, \dots, r_i$, r_i - число векторов связи i -го механизма выходящих из какого либо j -го положения. Направление векторов связи которых указывает на последовательность срабатывания механизмов. Проекция векторов связи на ось X характеризует величину запаздывания срабатывания механизма, а проекция на ось Y - разность между максимальными перемещениями механизмов.

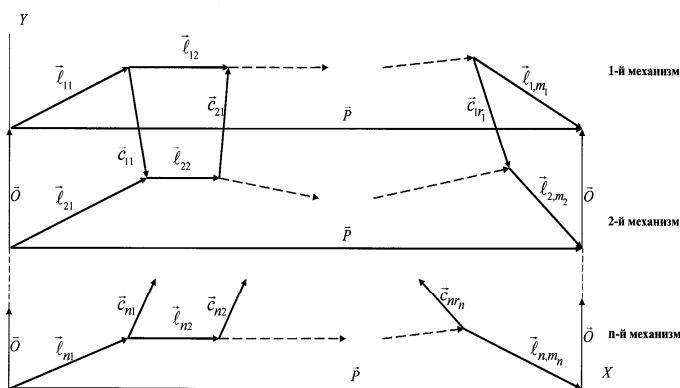


Рис. 1. Векторная модель циклограммы

Наложим циклограммы механизмов друг на друга при помощи нулевых векторов O (рис.1) соединяющих граничные точки циклограммы механизмов по оси Y .

Составим систему векторных уравнений, описывающих работу механизмов машины-автомата в соответствии (рис. 1).

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^{m_i} \vec{\ell}_{ij} = \vec{P}, i=1, \dots, n, \quad \vec{c}_{ik} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} b_{ij} \cdot \vec{\ell}_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $b_{ij} \in \{0, \pm 1\}$.

Векторные уравнения (1) описывают совместную работу механизмов машины-автомата. Спроецируем векторные уравнения (1) на оси X и Y .

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^{m_i} \alpha_{ij} = 2\pi, \quad \sum_{j=1}^{m_i} \delta_{ij} = 0, \quad c_{ik}^x = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} b_{ij} \alpha_{ij}, \quad c_{ik}^y = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} b_{ij} \delta_{ij}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

На фазовые углы срабатывания механизмов α_{ij} и хода δ_{ij} механизмов накладываем ограничения

$$\alpha_{ij} \geq \alpha_{ij}^m, \quad \delta_{ij}^s \geq \delta_{ij} \geq \delta_{ij}^H, \quad (3)$$

где α_{ij}^m – минимально допустимые фазовые углы срабатывания, определяемые из условия

работоспособности механизмов, $\delta_{ij}^g, \delta_{ij}^h$ – верхний и нижний пределы назначаемые конструктором.

На проекции векторов связи накладываем ограничения

$$c_{ik}^{xg} \geq c_{ik}^x \geq c_{ik}^{xh}, \quad c_{ik}^{yg} \geq c_{ik}^y \geq c_{ik}^{yh} \quad (4)$$

где $c_{ik}^{xh} = e_{ik}^x + \Delta c_{ik}^x$, $c_{ik}^{yh} = e_{ik}^y + \Delta c_{ik}^y$; e_{ik}^x, e_{ik}^y – минимально допустимые проекции векторов связи, определяемое из технологических условий, $\Delta c_{ik}^x, \Delta c_{ik}^y$ – погрешность проекции векторов связи, c_{ik}^{xg}, c_{ik}^{yg} – верхние ограничения накладываемые конструктором.

Уравнения (2) и ограничения (3,4) описывают совместную работу механизмов (циклограмму) машины-автомата.

При установившемся движении машины-автомата с централизованной системой управления распределительный вал вращается с постоянной скоростью $\omega = const$, тогда возможен переход к временам срабатывания механизмов t_{ij} по формуле $t_{ij} = \alpha_{ij} / \omega$, а период цикла $T = 2\pi / \omega$.

2. Математическая модель движения машины-автомата с учетом циклограммы механизмов Машины-автоматы содержат большое число механизмов, совместная согласованная работа которых определяет работоспособность машины. Циклограмма машины-автомата является достаточно сложной и от ее правильного построения, как показали исследования, существенно зависит ее динамика. Для того, чтобы было возможным влиять на динамику машины-автомата за счет перестройки ее циклограммы, необходимо выявить связь между дифференциальными уравнениями движения машины-автомата и уравнениями, описывающими ее циклограмму. Рассмотрим данную связь на примере машины-автомата состоящей из двигателя от которого приводятся в движение через главный вал n -механизмов, динамическая модель которой представлена в виде параллельно-последовательной колебательной системы с n -механизмами с нелинейными функциями положения ведомых звеньев. Эти механизмы изображены в виде цепочки соответствующих дискретных упругих c_i , коэффициентов сопротивления β_i , инерционных J_i, I_i , момента двигателя $M_{\partial B}$, моментов сопротивления M_i и кинематических элементов P_i , $i = 1, \dots, n$, (рис. 2).

Для составления уравнения движения механизмов машины-автомата по динамической модели (рис. 2) воспользуемся уравнениями Лагранжа 2 рода с «лишними» координатами [6]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_j} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_j} + \frac{\partial V}{\partial \varphi_j} = Q_j + \sum_{i=1}^m \lambda_i h_{ij}, \quad \sum_{j=1}^{m+n} h_{ij} \dot{\varphi}_j + h_i = 0, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ n - обобщенных координат, λ_i - множители Лагранжа, h_{ij}, h_i - некоторые функции. T - кинетическая энергия голономной системы V - потенциальная энергия системы, Q_j - обобщенные силы.

Для установления связи между уравнениями описывающими совместную работу механизмов машины-автомата (2-4) и уравнениями динамики (5) запишем функции положения и передаточные функции механизмов машины-автомата в виде (6).

$$\left. \begin{aligned} P_i &= P_{i1} \cdot [1 - L(\varphi_i - \alpha_{i1})] + \sum_{j=2}^m P_{ij} \left[1 - L\left(\varphi_i - \sum_{r=1}^j \alpha_{ir}\right) \right] \cdot L\left(\varphi_i - \sum_{r=1}^{j-1} \alpha_{ir}\right) \\ P_i' &= P_{i1}' [1 - L(\varphi_i - \alpha_{i1})] + \sum_{j=2}^m P_{ij}' \left[1 - L\left(\varphi_i - \sum_{r=1}^j \alpha_{ir}\right) \right] \cdot L\left(\varphi_i - \sum_{r=1}^{j-1} \alpha_{ir}\right) \\ P_i'' &= P_{i1}'' [1 - L(\varphi_i - \alpha_{i1})] + \sum_{j=2}^m P_{ij}'' \left[1 - L\left(\varphi_i - \sum_{r=1}^j \alpha_{ir}\right) \right] \cdot L\left(\varphi_i - \sum_{r=1}^{j-1} \alpha_{ir}\right) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $i = 1, \dots, n$, $L(x)$ - ступенчатая функция вида $L(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ P_{ij}, P_{ij}', P_{ij}'' & - \text{функции} \\ 1, & x \geq 0. \end{cases}$

положения, первая передаточная функция, вторая передаточная функция на участках фазовых

углов срабатывания механизмов α_{ij} .

Выражение (6) устанавливает связь между уравнениями (5) описывающие динамику машины-автомата и уравнениями (2-4) циклограммы работы машины-автомата. Данный метод позволяет решать различные оптимизационные задачи, где в качестве варьируемых параметров используются фазовые углы α_{ij} и δ_{ij} хода циклограммы машины-автомата, что дает возможность улучшить их динамику только за счет изменения циклограммы механизмов.

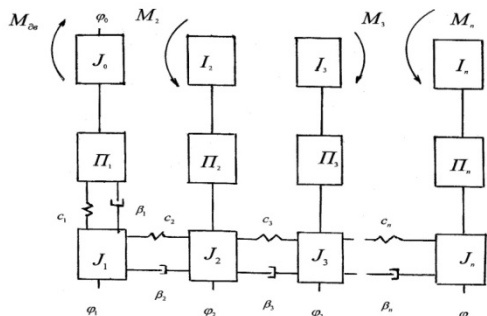


Рис. 2. Динамическая модель машины-автомата

Конструкция батанного механизма станка СТБ приведена на рис.3, где брус батана 1 имеет продольный паз 2, в котором с помощью нажимных болтов 3 крепится берда 4. К передней части бруса батана винтами 5 прикреплены обоймы 6 с зубьями 7. Болтами 8 брус 1 крепится на коротких лопастях 9 расположенных на подбатанном валу 10. Подбатанный вал 10 изготовлен как одно целое с двуплечими рычагами 11, помещающимися в верхней части герметически закрытой коробки 12, которая заполнена маслом. Коробка 12 крепится к основанию 13.

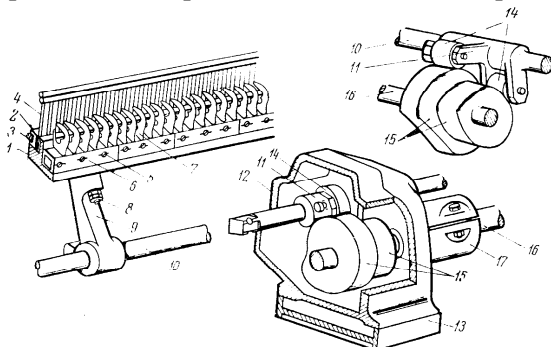


Рис. 3. Батанный механизм

На концах двуплечих рычагов 11 укреплены ролики 14, соприкасающиеся с парными кулачками 15, сидящими на главном валу 16. Последний расположен в нижней части батанной коробки 122 и составляет одно целое с парными кулачками 15. Главный вал состоит из нескольких секций, связанных между собой полумуфтами 17. На концах секций, выходящих из коробки 12, помещены шариковые подшипники, рядом с которыми в коробку запрессованы полые кольца с сальниками. При вращение главного вала 16, (а вместе с ним и парных кулачков 15), через ролики 14 это движение преобразуется в качательное движение двуплечих рычагов 11, подбатанного вала 10 и в конечном счете в движение батана 1. Время и скорость движения батана (подбатанного вала, лопасти, бруса батана 1 и берда 4) зависит от профиля спаренных кулачков 15. Во время приобоя уточной нити к опушке ткани зубья направляющей гребенки благодаря коротким лопастям убираются из зева под опушку ткани; в первоначальное положение зубья возвращаются при движение батана назад. Когда зубья убираются из зева, через их щель уточная нить выходит и остается в зеве, а затем прибавляется к опушке ткани.

Рассмотрим динамическую модель батанного механизма ткацкого станка СТБ-180ПН, приведенную на рис.4. Основой её является главный вал станка, от которого приводятся в движение все его механизмы. Вращение от двигателя с моментом $J_0 = const$ передается на главный вал через клиноременную передачу с передаточным отношением Π_0 и жесткостью c_1 , и далее на шкив и крестовину фрикционной муфты с закрепленным жестко с ней тормозным барабаном, имеющим момент инерции $J_1 = const$.

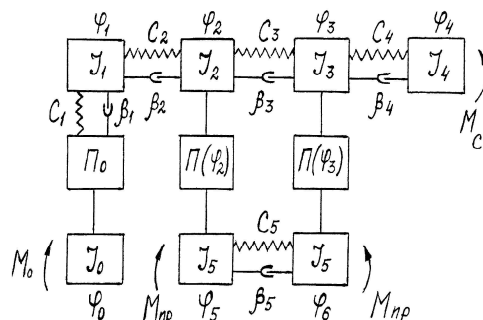


Рис. 4. Динамическая модель батанного механизма ткацкого станка СТБ-180ПН

Главный вал состоит из трех участков, имеющих жесткость на кручение c_2, c_3, c_4 и

коэффициенты сопротивления $\beta_2, \beta_3, \beta_4$, $J_2 = const$ - момент инерции кулачкового вала первой батанной коробки. $J_3 = const$ - момент инерции кулачкового вала второй батанной коробки. J_4 - момент инерции механизмов уточно-боевой и приемной коробок и каретки механизмов смены утка приведены к трехпазовому кулачку. J_5, c_5, β_5 - соответственно момент инерции батана, жесткость и коэффициент сопротивления подбатанного вала, $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ - независимые обобщенные координаты, определяющие абсолютные угловые перемещения вращающихся масс $\varphi_5 = \Pi(\varphi_2)$, $\varphi_6 = \Pi(\varphi_3)$ - функции положения батанного механизма. M_D - момент движущихся сил электродвигателя. $M_{пп}$ - момент сил приобоя на батане. M_C - момент сил сопротивления. Данная динамическая модель описывается следующими уравнениями (7)

$$\left. \begin{aligned} J_0 \ddot{\varphi}_0 + c_1 (\Pi_0 \varphi_0 - \varphi_1) + \beta_1 (\Pi_0 \dot{\varphi}_0 - \dot{\varphi}_1) &= M_D, \\ J_1 \ddot{\varphi}_1 + c_1 (\varphi_1 - \Pi_0 \varphi_0) + c_2 (\varphi_1 - \varphi_2) + \beta_1 (\dot{\varphi}_1 - \Pi_0 \dot{\varphi}_0) + \beta_2 (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) &= 0, \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 + c_2 (\varphi_2 - \varphi_1) + c_3 (\varphi_2 - \varphi_3) + \beta_2 (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1) + \beta_3 (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) &= \\ &= [-M_{пп} - J_5 \ddot{\varphi}_5 - c_5 (\varphi_5 - \varphi_6) - \beta_5 (\dot{\varphi}_5 - \dot{\varphi}_6)] \Pi'(\varphi_3), \\ J_3 \ddot{\varphi}_3 + c_3 (\varphi_3 - \varphi_2) + c_4 (\varphi_3 - \varphi_4) + \beta_3 (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2) + \beta_4 (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_4) &= \\ &= [-M_{пп} - J_5 \ddot{\varphi}_5 - c_5 (\varphi_5 - \varphi_6) - \beta_5 (\dot{\varphi}_5 - \dot{\varphi}_6)] \Pi'(\varphi_3) \\ J_4 \ddot{\varphi}_4 + c_4 (\varphi_4 - \varphi_3) + \beta_4 (\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_3) &= -M_C, \end{aligned} \right\} (7)$$

где

$$\begin{aligned} \dot{\varphi}_5 &= \Pi'(\varphi_2) \dot{\varphi}_2, \quad \ddot{\varphi}_5 = \Pi''(\varphi_2) \dot{\varphi}_2^2 + \Pi'(\varphi_2) \ddot{\varphi}_2, \\ \dot{\varphi}_6 &= \Pi'(\varphi_3) \dot{\varphi}_3, \quad \ddot{\varphi}_6 = \Pi''(\varphi_3) \dot{\varphi}_3^2 + \Pi'(\varphi_3) \ddot{\varphi}_3 \end{aligned}$$

На рис.5 сплошными линиями изображена линейная циклограмма пяти наиболее важных механизмов ткацкого станка СТБ -180ПН, где цифрами обозначены следующие механизмы: 1- батанный механизм; 2-возвратчик прокладчиков утка, 3-боевой механизм, 4-компенсатор утка, 5-подъемник прокладчиков утка.

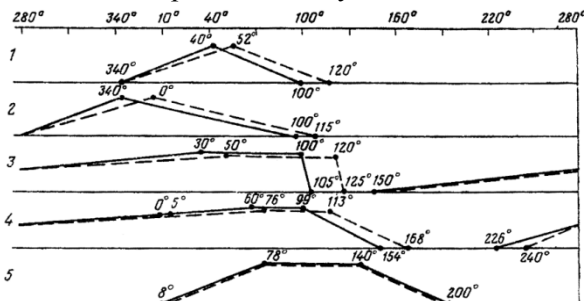


Рис. 5. Линейная циклограмма пяти наиболее важных механизмов ткацкого станка СТБ -180ПН

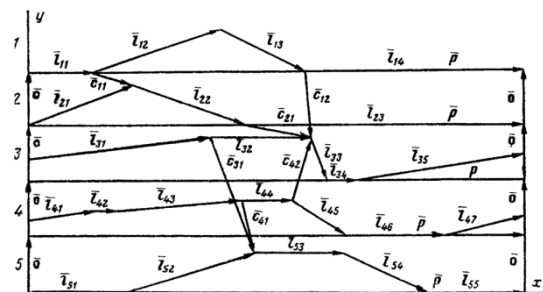


Рис. 6. Векторная циклограмма пяти наиболее важных механизмов ткацкого станка СТБ -180ПН

Представим циклограмму пяти наиболее важных механизмов ткацкого станка СТБ -180ПН в векторном виде [1] (рис. 6). Запишем проекции векторных уравнений на ось x, описывающих совместную работу механизмов станка

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{11} + \alpha_{12} + \alpha_{13} + \alpha_{14} &= 2\pi, \quad \alpha_{21} + \alpha_{22} + \alpha_{23} = 2\pi \\ \alpha_{31} + \alpha_{32} + \alpha_{33} + \alpha_{34} + \alpha_{35} &= 2\pi \\ \alpha_{41} + \alpha_{42} + \alpha_{43} + \alpha_{44} + \alpha_{45} + \alpha_{46} + \alpha_{47} + \alpha_{48} &= 2\pi \\ \alpha_{51} + \alpha_{52} + \alpha_{53} + \alpha_{54} + \alpha_{55} &= 2\pi, \quad c_{11}^x = \alpha_{21} - \alpha_{11}; \\ c_{12}^x &= \alpha_{31} + \alpha_{32} - \alpha_{11} - \alpha_{12} - \alpha_{13}, \quad c_{21}^x = \alpha_{31} + \alpha_{32} - \alpha_{21} - \alpha_{22}; \\ c_{31}^x &= \alpha_{51} + \alpha_{52} - \alpha_{31}, \quad c_{41}^x = \alpha_{51} + \alpha_{52} - \alpha_{41} - \alpha_{42} - \alpha_{43}; \\ c_{42}^x &= \alpha_{31} + \alpha_{32} - \alpha_{41} - \alpha_{42} - \alpha_{43} - \alpha_{44} \end{aligned} \right\} (8)$$

На фазовые углы механизмов и проекции векторов связи накладываем ограничения,

$$\alpha_{ij} \geq \alpha_{ij}^{\min}, \quad c_{11}^x \geq 1^\circ, \quad c_{12}^x \geq 0^\circ 30', \quad c_{21}^x \geq 9^\circ, \quad c_{31}^x \geq 0^\circ 30', \quad c_{41}^x \geq 4^\circ, \quad c_{42}^x \geq 5^\circ \} (9)$$

где значения α_{ij}^{\min} даны в таблице 1

Таблица 1.

Представим функции положения $\Pi(\varphi_2), \Pi(\varphi_3)$ и передаточные функции $\Pi'(\varphi_2), \Pi'(\varphi_3)$,

i	Значения α_{ij}^{\min} [град]						
	j						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	60	60	0			
2	60	70	0				
3	70	0	2	10	60		
4	60	3	30	60	50	0	30
5	0	70	0	60	0		

$\Pi''(\varphi_2), \Pi''(\varphi_3)$ батанного механизма

в следующем виде

$$\left. \begin{aligned} \Pi(\varphi_i) &= \Pi_{i1} \cdot [1 - L(\varphi_i - \alpha_{i1})] + \sum_{j=2}^4 \Pi_{i,j} \left[1 - L\left(\varphi_i - \sum_{r=1}^j \alpha_{i,r}\right) \right] \cdot L\left(\varphi_i - \sum_{r=1}^{j-1} \alpha_{i,r}\right) \\ \Pi'(\varphi_i) &= \Pi'_{i1} \cdot [1 - L(\varphi_i - \alpha_{i1})] + \sum_{j=2}^4 \Pi'_{i,j} \left[1 - L\left(\varphi_i - \sum_{r=1}^j \alpha_{i,r}\right) \right] \cdot L\left(\varphi_i - \sum_{r=1}^{j-1} \alpha_{i,r}\right) \\ \Pi''(\varphi_i) &= \Pi''_{i1} \cdot [1 - L(\varphi_i - \alpha_{i1})] + \sum_{j=2}^4 \Pi''_{i,j} \left[1 - L\left(\varphi_i - \sum_{r=1}^j \alpha_{i,r}\right) \right] \cdot L\left(\varphi_i - \sum_{r=1}^{j-1} \alpha_{i,r}\right) \end{aligned} \right\} (10)$$

где $i = 2, 3$, $L(x)$ - ступенчатая функция вида

$$L(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ 1, & x \geq 0. \end{cases}$$

Уравнение (10) устанавливает связь между динамикой батанного механизма (уравнение (7)) и циклограммой механизмов станка (уравнения (8-9)). В качестве критерия оптимизации циклограммы возьмем коэффициент динамичности батанного механизма $K_d = \max\left(\left|\ddot{\varphi}_5^0 / \dot{\varphi}_5^0\right| + \left|\ddot{\varphi}_6^0 / \dot{\varphi}_6^0\right|\right)$, где $\ddot{\varphi}_5^0$, $\ddot{\varphi}_6^0$ - ускорение батанного механизма без учета упругости валов.

Решаем следующую оптимизационную задачу:

$$K_d \rightarrow \min \quad (11)$$

В качестве варьируемых параметров берутся фазовые углы батанного механизма $\alpha_{11}, \alpha_{12}, \alpha_{13}, \alpha_{14}$

В результате решения задачи (11) получена оптимальная циклограмма станка СТБ-180 с пневматическим соплом. Линейная оптимальная циклограмма изображена на рис.5 пунктирными линиями. В результате оптимизации циклограммы ткацкого станка СТБ-180ПН значение коэффициента динамичности батанного механизма уменьшилось на 5%

Выводы. 1. Разработана векторная модель циклограммы на основе представления циклограммы машины-автомата в виде векторных многоугольников, сохранив при этом наглядность существующих линейных циклограмм и возможности использования ЭВМ для оптимизации циклограмм механизмов машин с учетом точности их изготовления и работы, а также взаимодействия механизмов друг с другом. 2. Получена математическая модель движения машины-автомата с упругими звеньями и с учетом циклограммы ее механизмов. Получены уравнения связи между уравнениями описывающих совместную работу механизмов машины-автомата и уравнениями динамики через функции положения и передаточные функции механизмов.

Список литературных источников

1. Петрокас Л.В. Вопросы теории циклограммирования производственных машин и автоматических линий // Теория машин-автоматов и пневмоприводов. - М.: Машиностроение, 1970. - С.22-36.
2. Артоболевский И.И. Задачи теории машин и механизмов в развитии методов расчета и проектирования машин автоматического действия // Сессия АН СССР по научным проблемам автоматизации производства. Том VI, изд-во АН СССР, 1957. - С.345-350.
3. Цейтлин Г.В. Циклограммирование сложных технологических машин-автоматов // Машиноведение. - 1975. - №3. - С.49-53.
4. Новгородцев В.А. Представление цикловой диаграммы машины в виде графа // Теория механизмов и машин. - Харьков, 1982. - вып. 33. - С. 57-60.
5. Джомартов А.А., Ермолов А.А. Оптимизация циклограммы механизмов машины-автомата. Машиноведение. М. №6, 1987. С. 42-45.
6. Вульфсон И.И. Динамические расчеты цикловых механизмов. -Л.: Машиностроение, 1976. - 328 с. 7. Джомартов А.А., Уалиев Г. Динамика механизмов ткацких станков-автоматов СТБ. - Алматы. - Тауар . 2003г. - 377с.