

УДК 62–229.61:62–41

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ  
ПЛОСКОГО МАТЕРИАЛА В ЗОНУ ОБРАБОТКИ***Г.А. Бахадиров*

Рассматривается задача равномерной подачи плоского материала в зону обработки путем регулирования скорости транспортера в зависимости от натяжения материала в переходной зоне в автоматическом режиме.

*Ключевые слова:* устройство подачи; плоский материал; управление; клиноременный вариатор; закон движения.

**AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF FLAT MATERIAL FEEDING INTO PROCESSING ZONE***G.A. Bahadirov*

The article studies evenly supply of flat material to the processing zone by controlling the conveyor speed according to the tension of the material in the transition zone in the automatic mode.

*Keywords:* feeder; flat material; control, wed-belt variator; motion law.

При механической обработке плоского материала, например, кожевенного полуфабриката, валковыми технологическими машинами требуется его подача в расправленном виде. Для обеспечения этого требования необходимо выполнение определенных соотношений скоростей подачи плоского материала транспортирующим устройством и втягивания его в зону контакта рабочих валов. Следовательно, постоянное передаточное отношение привода не может обеспечить это условие [1, 2].

Скоростью транспортера необходимо управлять так, чтобы постоянно обеспечивалась определенная натяжка обрабатываемого плоского материала, которая должна выпрямлять его поперечные складки.

Разработанное автором устройство и система управления обеспечивает равномерную подачу плоского материала в зону обработки путем регулирования скорости транспортера в зависимости от натяжения обрабатываемого материала в переходной зоне в автоматическом режиме (рисунок 1) [3].

Устройство включает струнный транспортёр 1 для перемещения плоского материала 2, струны 3, ведомые 4, 5 и ведущий 6 валки транспортера. Система непрерывного контроля и управления

содержит механизм слежения натяжения в виде двулучевого рычага 7, установленного на станине 8, концы которого контактирует с плоским материалом 2 и регулятором. Вариатор для регулирования натяжения плоского материала 2, т.е., для обеспечения необходимого переменного передаточного отношения привода машины, включает ведущий 9 и ведомый 10 составные шкивы с подвижными 11, 12 и неподвижными 13, 14 дисками и ремень 15.

Обычно переход ведомой части машины с помощью вариатора от начальной скорости  $\dot{\varphi}_{2H}$  до конечной  $\dot{\varphi}_{2K}$  происходит с определенным ускорением  $\ddot{\varphi} = E_m$  [4, 5].

Систему управления машиной с помощью вариатора представим в виде двухмассовой динамической модели с приведёнными моментами инерции  $J_1$   $J_2$ , связанными непосредственно с ведущим и ведомым валами вариатора. К ведущему валу вариатора приложен движущий момент  $T_1$ , а к ведомому – момент силы сопротивления  $T_2$ . В вариаторах подвижный диск ведомого шкива подпружинен, а управляющий механизм воздействует на подвижный диск ведущего шкива или наоборот.

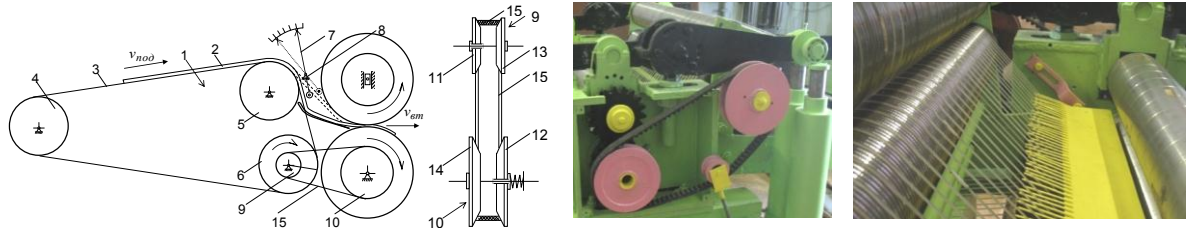


Рисунок 1 – Схемы и фото устройства и системы управления подачи плоского материала в зону обработки

Осевые перемещения  $X_1$  и  $X_2$  подвижных дисков или клинового ремня на подвижных дисках ведущего и ведомого шкивов связаны функцией положения  $\Pi$ , которую легко получить из формулы для длины ремня:

$$X_2 = \Pi(X_1) = \frac{tg\gamma(\pi a_w + \Delta D - \sqrt{(\pi a_w + \Delta D)^2 - 4\pi a_w X_1 ctg\gamma}) - X_1}{1}, \quad (1)$$

где  $a_w$  – межцентровое расстояние;  $\Delta D = D_{2max} - D_{1min}$ ;  $D_1 = D_{1min} + X_1 ctg\gamma$ ;  $D_2 = D_{2max} - X_2 ctg\gamma$  – наибольший и наименьший диаметр расположения нейтральной линии ремня на шкивах;  $2\gamma$  – угол клина канавок шкивов.

Функция положения  $X_1 = \tilde{\Pi}(X_2)$  будет представлена зависимостью

$$X_1 = \tilde{\Pi}(X_2) = \frac{tg\gamma(\Delta D - \pi a_w + \sqrt{(\Delta D - \pi a_w)^2 - 4\pi a_w X_2 ctg\gamma}) - X_2}{1}. \quad (2)$$

В цепи управления системы вращательное движение посредством различных механизмов преобразуется в поступательное движение по-

$$\begin{cases} (J_2 + J_1 u^2) \ddot{\phi}_2 + J_1 \dot{\phi}_2 \dot{X}_1 u u' = T_1 u - T_2, \\ (J u_p^2 (\Pi_1')^2 + m_2 (\Pi')^2 + m_1) \ddot{X}_1 + (J u_p^2 \Pi_1' \Pi_1'' + m_2 \Pi' \Pi'') + \\ + K_2 (\delta_2 + \Pi) \Pi' = \pm (T - T_c) u_p \Pi_1' - (Q_1 \pm F_1^T) + (Q_2 \pm F_2^T) \Pi', \end{cases} \quad (4)$$

где  $m_1, m_2$  – массы подвижных дисков ведущего и ведомого шкивов;  $K_2, \delta_2$  – жёсткость и предварительная деформация пружины ведомого шкива;  $u_p$  – передаточное отношение редуктора;  $J$  – момент инерции звеньев управляющего механизма, приведенный к валу управляющего двигателя;  $Q_1, Q_2$  – распорные усилия подвижных шкивов;  $F_1^T, F_2^T$  – силы трения, которые пропорциональны распорным усилиям  $F_i^T = f_i \cdot C_i \cdot Q_i$ , где  $i = 1, 2$ ;  $f_i$  – коэффициенты трения для материалов подвижных дисков;  $C_i$  – коэффициенты пропорциональности;  $T_c$  – момент сил сопротивления в цепи механизма управления

движных дисков шкивов  $X_1$  или  $X_2$ . Функция положения механизма  $\Pi_1$ , преобразующего вращательное движение в поступательное, выражается зависимостью  $\phi = \Pi_1(X_1)$ .

При составлении дифференциальных уравнений движения системы с клиноременным вариатором ремень считаем гибкой, невесомой, нерастяжимой нитью, а между ведомым и ведущим шкивами вариатора имеет место неголономная связь

$$\dot{\phi}_1 = u \dot{\phi}_2, \quad (3)$$

где  $\phi_1, \phi_2$  – углы поворота ведущего и ведомого шкивов;  $u = \frac{D_2}{D_1}$  – передаточное отношение вариатора, которую нетрудно получить используя уравнение Аппеля [6, 7].

Для случая, когда подвижный диск ведомого шкива подпружинен, а управляющий механизм воздействует на подвижный диск ведущего шкива, принимая в качестве обобщённых координат  $\phi_2$  и  $X_1$ , имеем:

вариатором;  $u' = \frac{\partial u}{\partial X_1}$ ;  $\Pi' = \frac{\partial \Pi}{\partial X_1}$ ;  $\Pi'' = \frac{\partial^2 \Pi}{\partial X_1^2}$ ;

$$\Pi_1' = \frac{\partial \Pi_1}{\partial X_1}; \Pi_1'' = \frac{\partial^2 \Pi_1}{\partial X_1^2}.$$

Верхние знаки соответствуют случаю сближения дисков ведущего шкива, при котором происходит уменьшение передаточного отношения вариатора, а нижние – расхождению дисков ведущего шкива, когда передаточное отношение вариатора увеличивается.

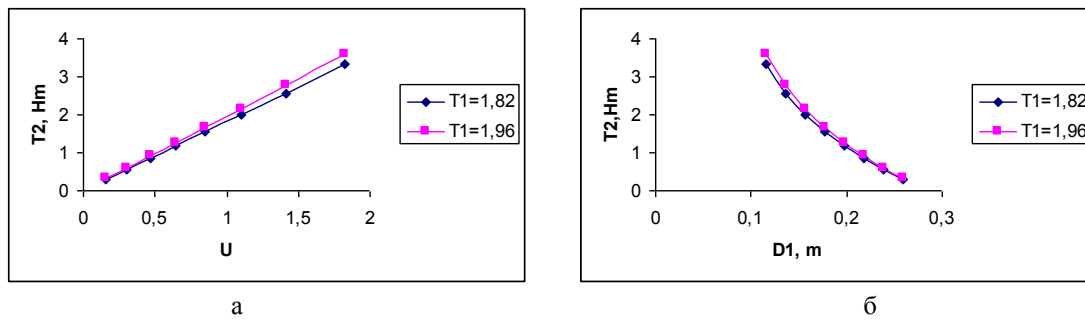


Рисунок 2 – График изменения крутящего момента  $T_2$ : а – в зависимости от передаточного отношения  $u$ ; б – в зависимости от  $D_1$

При оптимальном по быстродействию переходе из одного состояния в другое, угловая скорость ведомого вала вариатора изменяется по следующему закону [6, 7]:

$$\dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_{2H} \pm E_m t, \quad (5)$$

где  $\dot{\varphi}_{2H}$  – начальная угловая скорость перехода ведомого вала вариатора.

Верхний знак соответствует разгону, нижний – замедлению.

Так как  $\dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_2(t)$  известно, то для нахождения  $u = u(t)$  при оптимальном по быстродействию управлении вариатором следует определить  $\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_1(t)$ .

После некоторых преобразований, получим:

$$u(t) = \frac{\sqrt{\dot{\varphi}_{1H}^2 + \frac{2}{J_1} \int (N_1 - N_2) dt}}{\dot{\varphi}_{2H} \pm E_m t}, \quad (6)$$

где  $\dot{\varphi}_{1H}$  – начальная угловая скорость перехода ведущего вала вариатора;  $N_1$  – мощность двигателя;  $N_2$  – мощность ведомой части машины.

Если  $N_1 - N_2 > 0$ , то происходит разгон ведущей системы при управлении, а при  $N_1 - N_2 < 0$  – замедление.

Имея  $u = u(t)$ , можно найти закон движения управляющего подвижного диска при оптимальном по быстродействию управлении. Из выражения [5], определяющего длину ремня, нетрудно получить:

$$X_1 = - \left( \frac{\pi a_w (1+u)}{(u-1)^2} + D_1 \min \right) \text{tg} \gamma + \text{tg} \gamma \sqrt{\left( \frac{\pi a_w (1+u)}{(u-1)^2} \right)^2 - \frac{4a_w(2a_w - L)}{(u-1)^2}}. \quad (7)$$

Так как  $u = u(t)$  известно, то выражение (14) позволяет найти закон движения  $X_1 = X_1(t)$  управляющего подвижного диска ведущего шкива при оптимальном по быстродействию управлении.

Аналогичным образом, для случая, когда подвижный диск ведущего шкива подпружинен, а управляющий механизм воздействует на подвижный диск ведомого шкива, с учетом формулы (2) для функции положения  $X_1 = \tilde{\Pi}(X_2)$ , можно получить выражение для  $X_2 = X_2(u)$ ;  $L$  – длина ремня.

На рисунке 2 показан график изменения крутящего момента на валу ведомого  $T_2$  шкива в зависимости от передаточного отношения  $u$ , при  $T_{1min} = 1,82$  нм,  $T_{1max} = 1,96$  нм, и в зависимости от  $D_1$ . При экстремальных значениях  $T_1$ , с увеличением передаточного отношения  $u$  вариатора, значение крутящего момента  $T_2$  увеличивается прямо пропорционально. Зависимость между  $T_2$  и  $D_1$  получена при двух значениях  $T_1$ , и в обоих случаях наблюдается небольшая разница в результатах. Увеличение диаметра ведущего шкива способствует значительному снижению крутящего момента  $T_2$ .

Законы движения  $\dot{\varphi}_1 = u\dot{\varphi}_2$ ,  $\dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_2(t)$ ,  $X_1 = \tilde{\Pi}(X_2)$ ,  $X_i = X_i(t)$ ,  $i = 1, 2$ , определяемые выражениями (1)–(7), позволяют согласовать скорости подающего транспортера и втягивания валковой пары, которые обеспечивают качество обработки плоского материала валковой парой.

#### Литература

1. Failli F. An Innovative Approach to the Automated Stacking and Grasping of Leather. Plies CIRP Annals / F. Failli, G. Dini // Manufacturing Technology. Vol. 53. Iss. 1, 2004. P. 31–34.

2. *Бурмистров А.Г.* Машины и аппараты производства кожи и меха / А.Г. Бурмистров. М.: КолосС, 2006. 384 с.
3. Устройство управления подачей материала в зону обработки / Г.А. Бахадиров, К.Б. Хусанов, А. Абдукаримов и др. Патент РУз №FAP 00773 // Официальный бюллетень АИС РУз. №11 (139). 2012.
4. Умнов Н.В. Синтез механической системы с вариатором, оптимальным по быстродействию / Н.В. Умнов // Машиноведение. 1966. № 6. С. 47–53.
5. *Пронин Б.А.* Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи / Б.А. Пронин, Г.А. Ревков. М.: Машиностроение, 1980. 320 с.
6. *Аппель П.* Теоретическая механика. Т-2 / П. Аппель. М.: ГИФМЛ, 1960. 487 с.
7. *Бахадиров Г.А.* Автоматизация и управление процессов механической технологии обработки листовых материалов / Г.А. Бахадиров, А.А. Ризаев, Т.Ю. Аманов и др. Ташкент: Фан, 2013. 200 с.