

М и н и с т е р с т в о  
высшего и среднего специального образования УССР  
КИЕВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

---

Аспирант Б. Н. ГОНЧАРЕНКО

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ  
ЦЕНТРИРОВАНИЯ РИСУНКА ЭТИКЕТКИ  
В КОНФЕТОЗАВЕРТОЧНЫХ АВТОМАТАХ  
ВЫСОКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

/Специальность № 198 – Автоматизация  
производственных процессов пищевой промышленности/

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

КИЕВ – 1989

Кому \_\_\_\_\_

Куда \_\_\_\_\_

Киевский технологический институт пищевой промышленности направляет Вам для ознакомления автореферат диссертации Б.Н.Гончаренко "Исследование динамики системы центрирования рисунка этикетки в конфетозаверточных автоматах высокой производительности", представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, просим направить в Ученый Совет института не позже \_\_\_\_\_ 1970 г.

Ученый секретарь Совета,  
д о ц е н т

М.М.Христенко

Работа выполнена на кафедре автоматизации процессов пищевых производств Киевского технологического института пищевой промышленности.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор  
А.А.Лапшин;

кандидат технических наук В.З.Шапран;

ведущее предприятие - Киевский завод продовольственных автоматов КИЕВПРОДМАШ

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1970 .

Защита состоится в \_\_\_\_\_ 1970 г.

Адрес: Киев-17, Владимирская, 68.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

## В В Е Д Е Н И Е

Для создания и укрепления материально-технической базы коммунистического общества огромное значение имеет повышение производительности труда во всех отраслях промышленности, в том числе и в пищевой, достигаемое, в частности, путем автоматизации основных и вспомогательных процессов производств. При этом расширяется объем и ассортимент пищевых продуктов, причем улучшается их качество и внешнее оформление за счет автоматической расфасовки и упаковки. Решению задачи автоматизации при упаковке пищевых продуктов служит создание высокопроизводительных заверточных машин, использующих рулонные заверточные материалы взамен листовых /флатовых/. Применение таких материалов позволяет сократить время на подачу и ориентацию заготовки, однако, требует взаимоблокировки подачи изделий и заверточных материалов, а также центрирования рисунка этикетки, т.е. автоматического обеспечения одинакового положения отпечатка /рисунка или текста/ на каждом завернутом изделии.

Дальнейшее повышение производительности заверточных автоматов для штучных изделий требует поиска более перспективных схем и конструкций их узлов, позволяющих получить высокое быстродействие.

Одним из направлений такого совершенствования является применение в схемах заверточных автоматов бесконтактных регулирующих устройств для центрирования рисунка этикетки /РУЦР/ на полупроводниковых логических и функциональных элемен-

тах дискретного действия, обладающих высоким быстродействием и надежностью. Устройства такого типа разработаны в КТИПП при участии автора, однако, особенности динамики их работы в заверточных автоматах с производительностью свыше 200-400 циклов в минуту до последнего времени оставались мало изученными. Изучению этих особенностей и посвящена реферируемая работа, задачами которой являлось:

1. Исследование работы РУЦР системы КТИПП при производительности заверточных автоматов свыше 400 циклов/мин, с целью определения диапазона производительности, в котором может быть рекомендовано их применение.

2. Теоретическое изучение динамических особенностей работы как отдельных элементов, так и всей системы центрирования с РУЦР системы КТИПП с целью получения модели для расчета переходных процессов и исследования ее устойчивости.

3. Экспериментальное изучение динамики работы узла бумагоподачи по каналу управляющего воздействия с целью получения динамических характеристик, а также определения схем и параметров корректирующих звеньев, обеспечивающих необходимое качества центрирования.

4. Исследование влияния быстродействия управляющей части РУЦР на качественные показатели и динамику работы системы центрирования.

Работа изложена на 137 стр. основного текста, иллюстрированного 28 рисунками и состоит из введения, трех глав, выводов и заключения, списка использованной литературы и приложений.

## 1. РЕГУЛИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ЦЕНТРИРОВАНИЯ РИСУНКА ЭТИКЕТКИ

Для подачи заверточных материалов из рулона в современных конфетозаверточных автоматах применяют периодические и непрерывные механизмы. Из последних наиболее широко распространены валиковые механизмы, что обусловлено их быстродействием и конструктивной простотой.

В автоматах с центрированием рисунка этикетки применяют ленточные заверточные материалы со специальными метками, нанесенными на ленту с шагом рисунка. При отсутствии РУЦР и различии между шагом рисунка и шагом подачи, что может быть вызвано целым рядом известных причин, линия реза смещается от метки и периодически переходит через все поле этикетки с периодом  $T_n$ :

$$T_n = \frac{60 \cdot e}{\Delta e \cdot Q} \text{ сек.} \quad //1/$$

где:  $e$  - шаг рисунка;  $\Delta e$  - систематическая погрешность подачи ленты;  $Q$  - производительность автомата.

При этом максимальное отклонение положения рисунка от линии реза /рассогласование/ может достигать половины длины этикетки.

Ввиду обилия причин, вызывающих рассогласование, и противоположного их влияния на характер появления и изменения последнего система центрирования рисунка этикетки /СЦР/ представляет собой замкнутую систему синхронно-сифазного согласования положения метки на ленте заверточного материала с положением отрезающего комплект заверток ножа, т.е. является следящей системой, работающей по принципу компенсации результирующего рассогласования.

Разнообразные схемы устройств, применяемых для центрирования рисунка этикетки в упаковочных и заверточных автоматах, могут быть сведены к приведенной на рис.1 функциональной схеме, которая одинаково пригодна как при непрерывной подаче оберточных материалов, так и при периодической.

В указанной схеме сигналы  $X_M$  от датчика меток ДМ и сигналы  $X_C$  от синхронизатора С поступают в управляющее устройство УУ, выполняющее логические операции по обработке поступающей информации и вырабатывающее воздействие  $X_Y$ , управляющее исполнительным устройством ИУ, которое воздействует на регулирующий орган РО, корректирующий скорость валиков В, подающих ленту заверточного материала с метками М из бобины Б /объект регулирования ОР/ к отрезающему ножу Н и приводимых от основного привода автомата П.

Приведенная функциональная схема реализуется обычно с помощью различного рода электромеханических устройств с релейно-контактной схемой управления и исполнительными элементами, приводимыми электромагнитными механизмами, быстродействие которых невелико.

Основные недостатки подобных устройств, ограничивающие их применение в скоростных системах, заключается в использовании принципа "накопления ошибок" /срабатывании только при достижении несогласования определенного значения/, малом быстродействии, наличии значительной зоны нечувствительности и применении недостаточно надежных электромеханических и контактных элементов.

По отечественным и зарубежным литературным данным / в том числе и материалам выставки Ин-продмаш-67/ производительность заверточных автоматов с центрированием рисунка не превышает 400 заверток в минуту, что значительно ниже технических возможностей собственно заверточных органов /600-1000 заверток в минуту/.

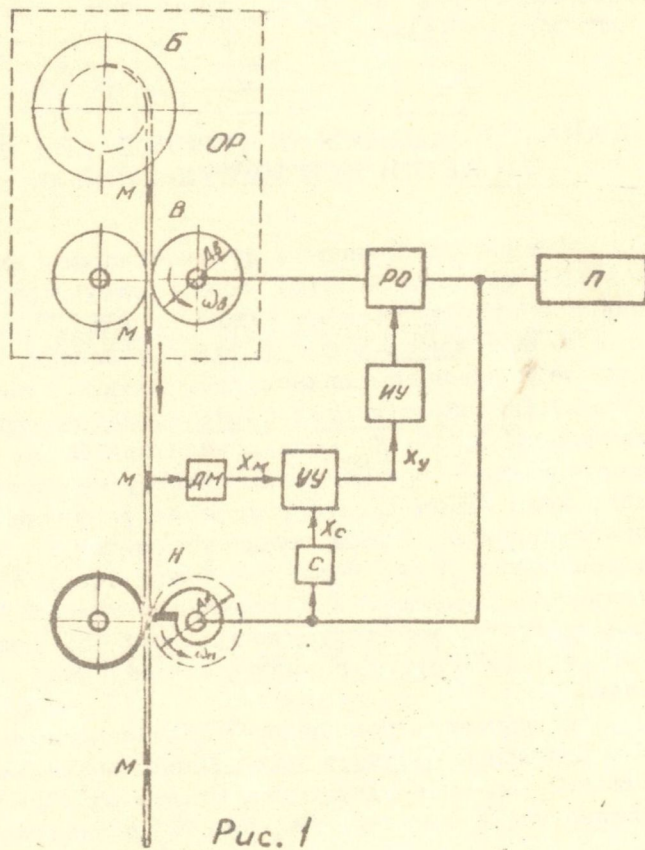


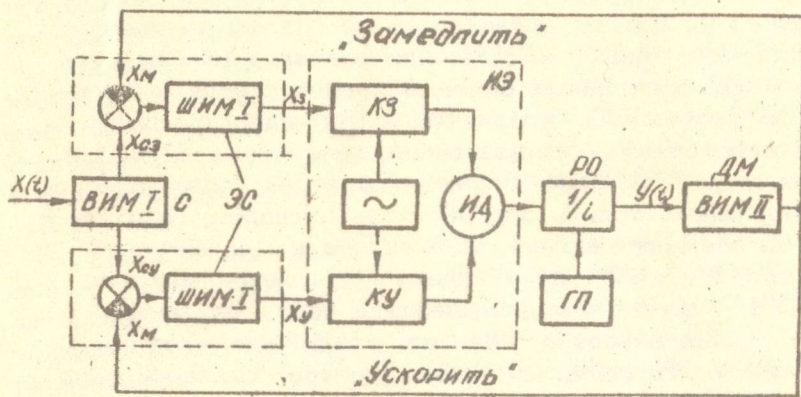
Рис. 1

Проведенный анализ требований к РУЦР высокопроизводительных автоматов показал, что перспективными к применению могут быть реверсивные РУЦР системы КТИПП с управляющей частью, выполненной на бесконтактных логических элементах "Логика". Однако, окончательные рекомендации по выбору регулятора могли быть сделаны только с учетом динамики процесса центрирования рисунка этикетки при высоких скоростях подачи ленты заверточного материала, что и составило предмет проведенного исследования.

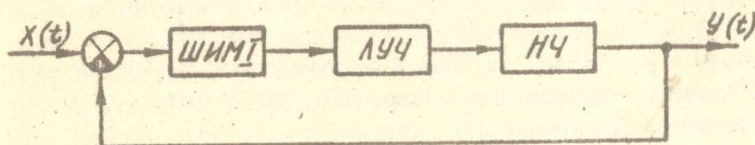
## II. АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ЦЕНТРИРОВАНИЯ РИСУНКА ЭТИКЕТКИ КАК ИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМЫ

На рис.2а приведена функциональная схема СЦР с РУЦР системы КТИПП, соответствующая функциональной структуре, показанной на рис.1. Управляющее воздействие  $X / t /$  по любому каналу, определяемое положением циклового механизма автомата /ножа/, преобразуется в СЦР в последовательность импульсов  $X_{сз}$  и  $X_{су}$  синхронизатора С /рис.1/, осуществляющего временную импульсную модуляцию первого рода /ВИМ I/. Регулируемая величина  $y / t /$ , представляющая собой положение метки на ленте по отношению к линии реза, преобразуется в последовательность импульсов  $X_M$  датчиком меток ДМ, осуществляющим временную импульсную модуляцию второго рода /ВИМ II/ в соответствии с рассогласованием.

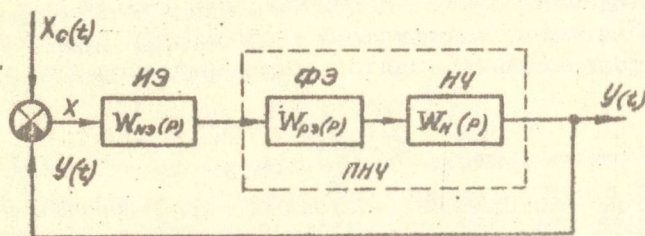
В элементе сравнения ЭС, оценивающем взаимное положение метки и ножа /линии реза/, осуществляется широтно-импульсная модуляция /ШИМ I/ управляющих сигналов  $X_z$  или  $X_y$  в зависимости от



а)



б)



в)

Рис.2

знака рассогласования/ величиной рассогласования. Поскольку каналы РУЦР снабжены взаимоблокировкой и могут работать только поочередно, рассмотрение их работы проводилось по одному из каналов. Вид модуляции управляющего сигнала, являющегося основным сигналом системы, определяется принципом работы ЭС и отличается от вида модуляции, осуществляемой импульсными элементами ВИМ I на входе СЦР и ВИМ II в цепи обратной связи, обеспечивающими только дискретность сигналов. Поэтому эти элементы можно заменить одним элементом ШИМ I /рис.26, на котором: НЧ – непрерывная и ЛУЧ – логическая управляющая часть системы/.

Как известно, система с ШИМ является нелинейной системой, параметры которой скачкообразно меняются от цикла к циклу в зависимости от величины рассогласования. Однако, при рассмотрении СЦР в диапазоне, ограниченном достаточно низкой частотой среза  $\omega_M$  можно пренебречь различием частотных характеристик при различных рассогласованиях и заменить их одной, соответствующей максимальному рассогласованию, т.е. наихудшим условиям работы системы.

Это равноценно замене нелинейного элемента сравнения /широкоимпульсного модулятора/ линейным амплитудным модулятором.

Подобная замена допустима при соблюдении условия, что соответствующая наибольшему возможному рассогласованию длительность импульса управления

$$\Delta t_M \leq \frac{1,1}{\omega_M} . \quad (21)$$

При этом расхождение частотных характеристик в диапазоне рассогласований от 0 до  $\Delta t_M$  не превышает 5%. По теореме В.А.Котельникова максимальная существенная частота спектра полезного сигнала

ла  $\omega_M$  выбирается меньше половины частоты  $\omega_T$  следования импульсов, определяемой производительностью автомата.

В СЦР с РУЦР системы КТИПП при изменении производительности 400+1000 циклов/мин  $\omega_T$  изменяется в пределах 41,8+105 рад/сек /6,87+16,7 гц/. Это определяет диапазон изменения  $\omega_M$  и  $\Delta t_M$ , соответственно, равные 3,34 + 8,35 гц и 0,368 + 0,138 сек.

Так как значения  $\Delta t_M$  в СЦР составляют в предельном случае всего 0,075 + 0,03 сек /при производительности 400 + 1000 циклов/мин/, а в реальных условиях и того меньше /около 0,07 значения  $\Delta t_M$ , рассчитанного по уравнению /2/, то указанная выше замена типа модулятора при исследовании подобных систем допустима.

Алгоритмическая структура СЦР при подобной замене представлена на рис.2в и содержит генерирующий импульсы вида  $\delta(t)$ -функции элемент ИЭ, передаточная функция которого равна 1, формирующий элемент ФЭ, передаточная функция которого при скважности управляющих импульсов  $\gamma \ll 1$  может быть представлена как

$$W_{\text{ФЭ}}(p) = \frac{1 - \exp(-\gamma T p)}{p} \approx \gamma T, \quad /3/$$

и непрерывную часть. ФЭ и НЧ могут быть представлены в виде приведенной непрерывной части /ПНЧ/ с передаточной функцией

$$W_{\text{НП}}(p) = W_{\text{ФЭ}}(p) \cdot W_{\text{Н}}(p) \quad /4/$$

В НЧ входят и влияют на ее динамические свойства управляемый тиристорный выпрямитель и исполнительный импульсный привод, соединенный через планетарный дифференциал с узлом бумагоподачи.

Тиристорный выпрямитель является динамическим звеном, нелинейность которого обусловлена не только видом статической характеристики, но и диск-

ретным режимом, определяющим следующие особенности его работы:

1. Дискретность управления – непрерывный в пределах цикла автомата сигнал управления на входе преобразуется в пачку полусинусоид на выходе выпрямителя.

2. Неоднозначность сигналов входа и выхода вследствие:

а/ отсутствия синхронизации моментов появления управляющих импульсов с фазой напряжения источника питания;

б/ потери управляемости при подаче короткого управляющего импульса /меньше  $1/2 T_c$  – напряжения сети/ или вне зоны управляемости;

в/ запаздывания в запираии тиристора после снятия управляющего сигнала до изменения знака анодного напряжения и уменьшения прямого тока до нуля.

Очевидно, что в СЦР с ШИМ на динамику системы могут оказывать влияние только нелинейности, связанные с неоднозначностью при включении и запаздыванием при отключении тиристора, что может быть учтено выражением передаточной функции в виде

$$W_{TB}(p) = k \cdot \exp(-p \frac{T_c}{2}), \quad /5/$$

где  $T_c$  – период напряжения питания.

Динамика исполнительного двигателя определяется дифференциальными уравнениями:

$$\begin{aligned} i + T_3 p i + \varepsilon' &= \sin(\alpha_1 + \omega t) \\ i - T_M p \varepsilon' &= i_{cr} \end{aligned} \quad /6/$$

где  $i, \varepsilon'$  – относительные значения тока и напряжения /или, соответственно, относительные значения момента и скорости/;

$T_Э, T_М$  - электромагнитная и электромеханическая постоянные времени системы.

В общем случае из-за различия величины тока в проводящем и непроводящем состоянии тиристора эти уравнения образуют нелинейную систему, решения которой получаются столь громоздкими и сложными, что почти исключается возможность практического их использования.

Применяя методы линейно-непрерывной аппроксимации и пренебрегая величиной  $T_Э \ll T_М$  /см. ниже/ получим передаточную функцию исполнительного двигателя, нагруженного узлом бумагоподачи, по каналу управляющего воздействия /среднее значение напряжения на якоре - путь двигателя/ в виде

$$W_{ид}(p) = \frac{1}{k_e \mathcal{L}(T_М p + 1) p} \quad 17/$$

С учетом /3/, /5/ и /7/ передаточная функция всей ПНЧ в относительном масштабе времени приобретает вид:

$$W_{НП}(q) = \frac{K \cdot \exp(-q \frac{T_Э}{2T})}{(\frac{T_М}{T} q + 1) q} \quad 18/$$

где:  $K = \frac{\delta T}{\mathcal{L} k_e}$  - коэффициент усиления ПНЧ системы;  
 $T$  - период квантования /время цикла автомата/.

Приводимые в литературных источниках способы точного решения уравнений динамики импульсного привода весьма сложны. В реферируемой работе предложен способ, позволяющий относительно просто рассчитать разгон двигателя, нагруженного исполнительным механизмом, если известна, может быть определена экспериментально или рассчитана электромеханическая постоянная времени привода, учитывающая характер механической нагрузки. В течение проводящего и непроводящего полупериодов

изменения напряжения сети динамику разгона двигателя определяют линейные уравнения, решая которые по интервалам и перепасовывая решения, получим всю картину разгона.

Динамика двигателя в проводящем полупериоде определяется уравнением:

$$\rho\Omega + \frac{1}{T_p}\Omega = k \frac{U_m}{T_p} \sin \omega t, \quad /9/$$

а в непроводящем

$$\rho\Omega + \frac{1}{T_B}\Omega = 0, \quad /10/$$

где  $T_p$  и  $T_B$  - постоянные времени, соответственно, в период разгона и выбега, сек;

$k$  - коэффициент усиления двигателя по каналу "напряжением-скорость".

В первом интервале  $0 < t < \tau$  уравнение /9/ имеет решение

$$\Omega_1 = e^{-\frac{t}{T_p}} \left\{ k \frac{U_m}{T_p} \left[ e^{\frac{t}{T_p}} \frac{T_p^2}{1+T_p^2\omega^2} \left( \frac{1}{T_p} \sin \omega t - \omega \cos \omega t \right) + \frac{T_p^2\omega}{1+T_p^2\omega^2} \left( 2 \frac{U_m}{T_p} - 1 \right) \right] \right\}$$

во втором  $\tau < t < 2\tau$

$$\Omega_2 = \Omega_1 |_{t=\tau} \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_B}\right) \quad /12/$$

и т.д.

Для любого четного /непроводящего/ интервала  $i$  /2, 4, 6, ...,  $i$  /,

$$\Omega_i = \sum_{j=1}^{i/2} \Delta\varphi \exp\left(-\frac{j\tau}{T_B}\right), \quad /13/$$

для любого нечетного /проводящего/ интервала  $i-1$  /2, 4, 6, ...,  $i-1$  /:

$$\Omega_{i-1} = \sum_{j=1}^{i/2} \Delta\varphi \exp\left[-\frac{(j-1)\tau}{T_B}\right], \quad /14/$$

где  $j = 1, 2, 3, \dots, i/2$  - количество членов суммы;

$\Delta\varphi$  - приращение функции /скорости/ в проводящем  $n$ -полупериоде

$$\Delta\varphi = \exp\left(-\frac{t}{T_p}\right) \{F(nT) - F[(n-1)T]\}, \quad /15/$$

где

$$F(t) = k \frac{U_m}{T_p} \left[ \exp\left(\frac{t}{T_p}\right) \frac{T_p^2}{1+T_p^2\omega^2} \left( \frac{1}{T_p} \sin\omega t - \omega \cos\omega t \right) - \frac{T_p^2\omega}{1+T_p^2\omega^2} \right] /16/$$

Проведенный в работе расчет дает результаты, хорошо совпадающие с экспериментом. Достаточное для практических целей приближение усредняющей расчетной кривой может быть сделано экспоненциальной функцией:

$$\Omega = \Omega_{уст} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{T_p}\right) \right]. \quad /17/$$

Путь двигателя для любого  $n$ -го интервала от начала движения может быть вычислен по формуле

$$\varphi_n(t) = \int \Omega_n(t) dt + \sum_{j=1}^{j=n-1} \int_{(j-1)T}^{jT} \Omega_j(t) dt \quad /18/$$

однако, расчеты в этом случае получаются более громоздкими, чем по усредняющему выражению:

$$\varphi(t) = \left\{ \Omega_{уст} \left[ t + T_p \exp\left(-\frac{t}{T_p}\right) \right] \right\} \Big|_0^t \quad /19/$$

В работе приведен выполненный с помощью ЦВМ "Промінь-2М" расчет пути по уравнению /19/, который может быть использован для построения переходных процессов и зависимостей величины коррекции на цикл от длительности управляющего импульса.

Применение в качестве регулирующего органа СЦР дифференциального планетарного редуктора, водило которого приводится через самотормозящую червячную пару от исполнительного двигателя, накладывает на динамику работы СЦР ряд особенностей, рассматриваемых в реферируемой работе.

Водило в зависимости от направления вращения исполнительного двигателя может быть либо ведущим /при вращении в сторону "Ускорить"/, либо ведомым /при вращении в сторону "Замедлить"/ звеном. В первом случае исполнительный двигатель нагружен со стороны бумагоподачи удвоенным моментом и расходует мощность на сообщение добавочных оборотов выходному валу дифференциала. Во втором случае - только статическим моментом растормаживания червячной пары и динамическим моментом червяка. При этом, момент нагрузки со стороны бумагоподачи воспринимает основной привод, т.е. исполнительный двигатель работает в режиме, близком к холостому ходу.

Таким образом, динамические свойства СЦР по различным каналам различны /в частности, различные величины удельной коррекции в цикле и постоянные времени разгона, различно время центрирования, различны также параметры корректирующих звеньев, что и подтверждено при дальнейшем экспериментальном исследовании.

Применив к выражению /8/ так называемое  $\mathcal{D}$ -преобразование /связь между непрерывным  $\mathcal{L}$ - и дискретным  $D$ -преобразованиями Лапласа/, получим передаточную функцию разомкнутой импульсной СЦР

$$W_p(z, \varepsilon) = K \exp\left(-\frac{\alpha T}{2T}\right) \frac{[a_2(\varepsilon) \exp(\alpha z) + a_1(\varepsilon) \exp(\alpha)]}{b_2 \exp(\alpha z) + b_1 \exp(\alpha) + b_0}, \quad (20)$$

где:  $\varepsilon = \frac{\alpha t}{T}$  - параметр сдвига, позволяющий исследовать поведение решетчатой функции внутри периода квантования /  $\varepsilon = 0$  - начало,  $\varepsilon = 1$  - конец периода/;

$z = pT$  - обозначение оператора преобразования Лапласа при использовании относительного масштаба времени  $\bar{t} = \frac{t}{T}$ .

$$a_2(\varepsilon) = 1 - \exp\left(-\frac{T}{T_M} \varepsilon\right);$$

$$a_1(\varepsilon) = \exp\left(-\frac{T}{T_M} \varepsilon\right) - \exp\left(-\frac{T}{T_M}\right);$$

$$b_2 = 1; \quad b_1 = -\exp\left(-\frac{T}{T_M}\right) - 1; \quad b_0 = \exp\left(-\frac{T}{T_M}\right).$$

Из рассмотрения уравнения /20/ очевидно, что импульсная разомкнутая СЦР имеет множество передаточных функций внутри периода квантования, соответствующих всем возможным значениям параметра сдвига  $\varepsilon$ . Например, при  $\varepsilon = 0$  и  $\varepsilon = 1$  выражения передаточных функций различаются только множителем  $\exp(q)$ . Однако, составляющая  $\exp\left(-q \frac{T}{2T_M}\right)$ , определяемая нелинейностью тиристорного выпрямителя, входит во все выражения.

Выражение комплексной передаточной функции разомкнутой СЦР  $W_p(j\bar{\omega}, \varepsilon)$  получим формальной подстановкой в уравнение /20/ аргумента  $j\bar{\omega} = q$ , где  $\bar{\omega} = \omega T$  - частота при применении относительно масштаба времени. На рис.3 приведены АФХ разомкнутой СЦР при различных производительностях, полученные на ЦВМ "Проминь-2М" по выражению  $W_p(j\bar{\omega}, \varepsilon)$  для начала цикла /  $\varepsilon = 0$  / с учетом запаздывания, вносимого тиристорным выпрямителем.

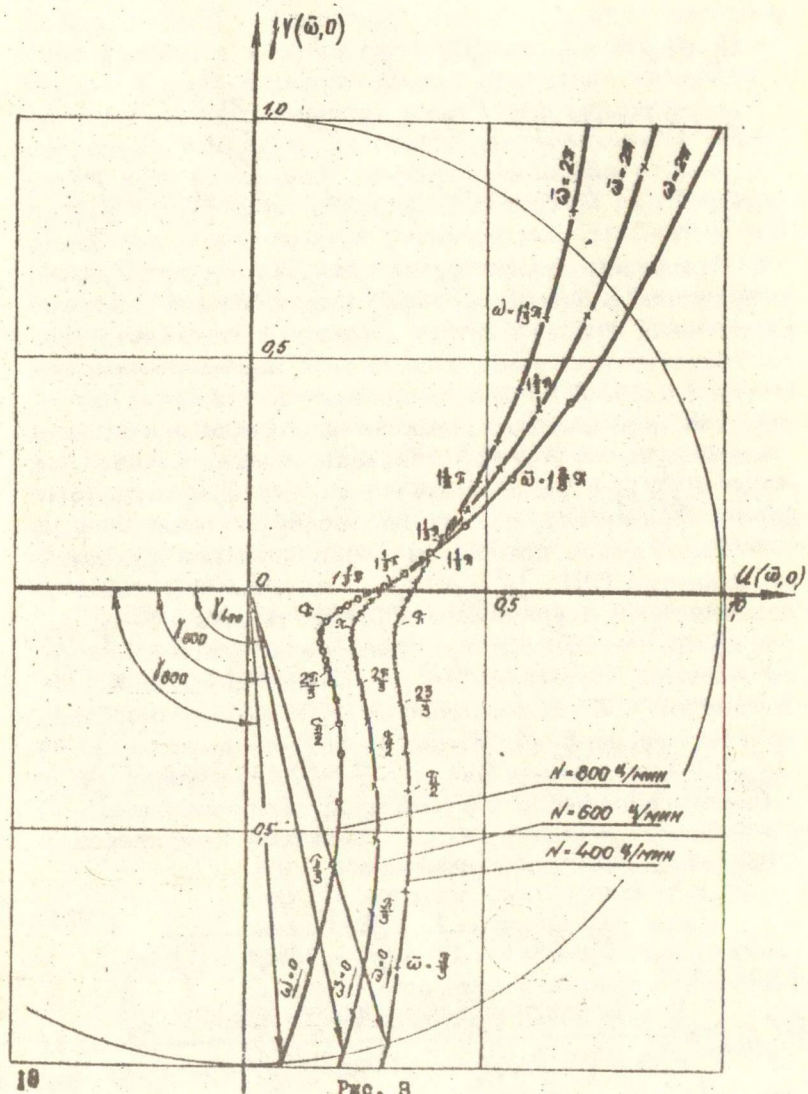
Передаточная функция замкнутой импульсной СЦР, найденная по выражению

$$W_3[q, \varepsilon] = \frac{W_p[q, \varepsilon]}{1 + W_p[q, 1] \exp(-q)} \quad /21/$$

имеет вид

$$W_3[q, \varepsilon] = \frac{K \cdot \exp\left(-q \frac{T}{2T_M}\right) [a_2(\varepsilon) \exp(q) + a_1(\varepsilon) \exp(q)]}{b_2 \exp(q) + b_1 \exp(q) + b_0 + K \exp\left(-q \frac{T}{2T_M}\right) [1 - \exp\left(-\frac{T}{T_M}\right) \exp(q)]} \quad /22/$$

где значения  $a_2(\varepsilon)$ ,  $a_1(\varepsilon)$ ,  $b_2$ ,  $b_1$ ,  $b_0$  - такие же, как и в уравнении /20/.



Используя выражение /22/ и применяя последовательно  $Z$  - преобразование /при  $\exp(q) = \exp(pT) = z$ / и  $w$  - преобразование /при  $z = \frac{1+w}{1-w}$  /, проведен анализ устойчивости замкнутой СЦР по аналогу критерия устойчивости Рауса-Гурвица для импульсных систем.

$Z$  - характеристическое уравнение замкнутой СЦР имеет вид

$$z^2 + [-\exp(-\frac{T}{T_M}) - 1]z + K[1 - \exp(-\frac{T}{T_M})]z^{(1+\frac{T_c}{2T})} + \exp(-\frac{T}{T_M}) = 0 \quad /23/$$

или, учитывая, что диапазон изменения выражения  $|1 - \frac{T_c}{2T}|$  при производительности

$Q = 400 + 800$  циклов/мин, составляет  $0,933 + 0,87$ , т.е.  $z \approx z^{(1-\frac{T_c}{2T})}$ .

$$z^2 + [-\exp(-\frac{T}{T_M}) - 1 + K[1 - \exp(-\frac{T}{T_M})]]z + \exp(-\frac{T}{T_M}) = 0 \quad /24/$$

Из /24/ получено  $w$  - характеристическое уравнение замкнутой СЦР в виде

$$F_3(w) = C_2 w^2 + C_1 w + C_0 = 0 \quad /25/$$

где:

$$C_2 = 2[1 + \exp(-\frac{T}{T_M})] + K[1 - \exp(-\frac{T}{T_M})];$$

$$C_1 = 2[1 - \exp(-\frac{T}{T_M})];$$

$$C_0 = K[1 - \exp(-\frac{T}{T_M})].$$

По критерию устойчивости Рауса-Гурвица условия устойчивости системы второго порядка определяются системой неравенств.

$$\Delta_1 = C_1 > 0$$

$$\Delta_2 = C_1 C_0 > 0$$

/26/

из которых первое тождественно, т.е. верно при всех значениях входящих в него букв. Тогда условия устойчивости СЦР:

$$G_1 G_0 = 2K \left[ 1 - \exp\left(-\frac{T}{T_M}\right) \right]^2 > 0 \quad /27/$$

Из /27/ следует, что при  $T \rightarrow 0$  /с ростом производительности/ СЦР приближается к границе устойчивости, также как и при  $T_M \rightarrow \infty$ .

Пользуясь представленными на рис.3 АФХ разомкнутой импульсной СЦР и критерием устойчивости Найквиста, можно убедиться в устойчивости СЦР, поскольку ее АФХ не охватывает точку  $[-1, 0j]$ . С ростом производительности СЦР запас устойчивости как по модулю, так и по фазе имеет тенденцию к уменьшению, что согласуется с полученными выше выводами.

### III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАБОТЫ СЦР И ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Исследования проводились при скоростях, соответствующих диапазону производительности 400 + 800 циклов/мин, на специальном стенде, содержащем регулируемый основной привод и имитатор блокировки, позволяющий в пределах 8 циклов осуществить любую программу имитации блокировок /прекращения подачи заверточного материала при отсутствии изделий/. Для наблюдения и регистрации переходных процессов в узлах схемы и измерения параметров основных цепей стенд был оснащен универсальным электронным осциллоскопом, восьмишейфовым магнитоэлектрическим осциллографом и необходимыми показывающими приборами. Обработка записанных в процессе исследования осциллограмм осуществлялась при пятикратном увеличении.

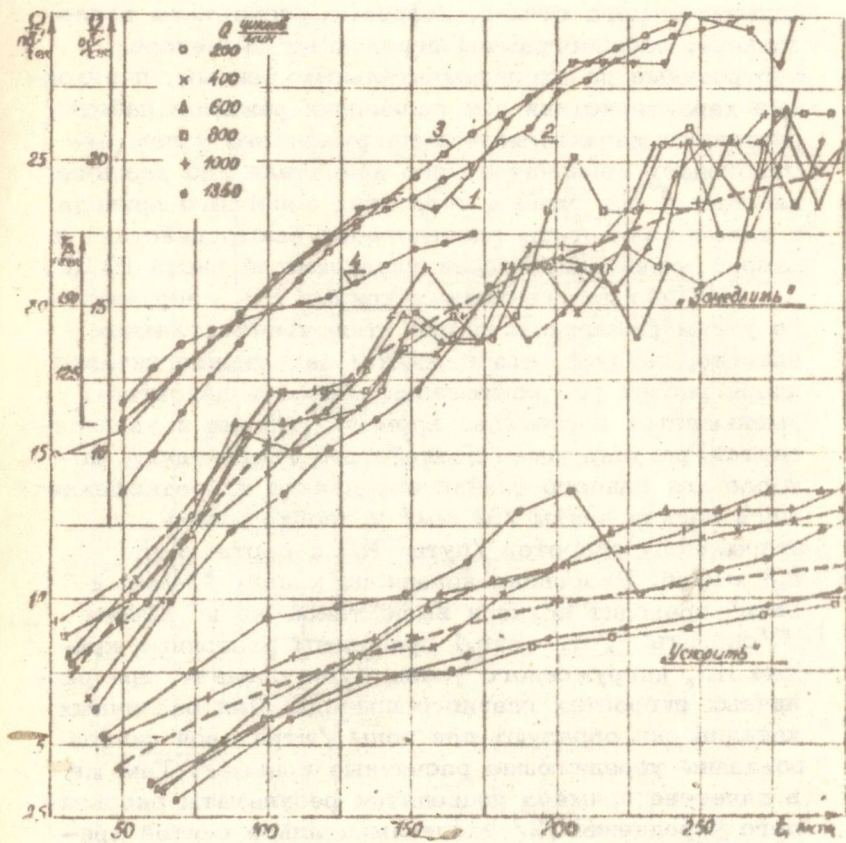


Рис. 4

В диссертации приводятся схема и фотографии испытательного стенда, цифровые результаты исследований, осциллограммы переходных процессов, построенные по экспериментальным данным, переходные характеристики для различных режимов работы, разгонные характеристики нагруженного узлом бумагоподачи исполнительного двигателя /по различным каналам и при разных скоростях основного привода/, а также результаты исследования быстродействия и разрешающей способности управляющей части РУЦР.

Из анализа разгонных кривых ИД, нагруженного узлом бумагоподачи при отключенном главном приводе, следует, что с ростом напряжения питания якоря растет установившаяся скорость двигателя, уменьшается постоянная времени разгона и увеличивается регулирующее воздействие /коррекция/, которое для данного случая определено как отношение шага подачи ленты /92 мм/ и необходимому для этого числу оборотов /пути/ ИД и составляет 8,8 мм/об. Разгонная кривая по каналу "Замедлить" проходит круче и выше такой же по каналу "Ускорить". На рис.4 приведены разгонные кривые ИД, нагруженного узлом бумагоподачи, при различных скоростях главного привода. Для различных каналов они образуют две зоны /штриховой линией показаны усредняющие расчетные кривые/. Там же в качестве примера приводятся результаты скользящего усреднения /2/ экспериментально снятой кривой разгона /1/, расчетная кривая /3/ и расчетные значения постоянной времени /4/ для различных точек кривой. Постоянные времени разгона, рассчитанные для усредненных разгонных характеристик, равны для канала "Замедлить"  $T_{\text{рз}} = 0,12$  сек и для канала "Ускорить" -  $T_{\text{рз}} = 0,1$  сек. Для расчетов по уравнению /13/ и /14/ было принято значение  $T_{\text{рз}} = 0,1$  сек, как характеризующее канал с худшими

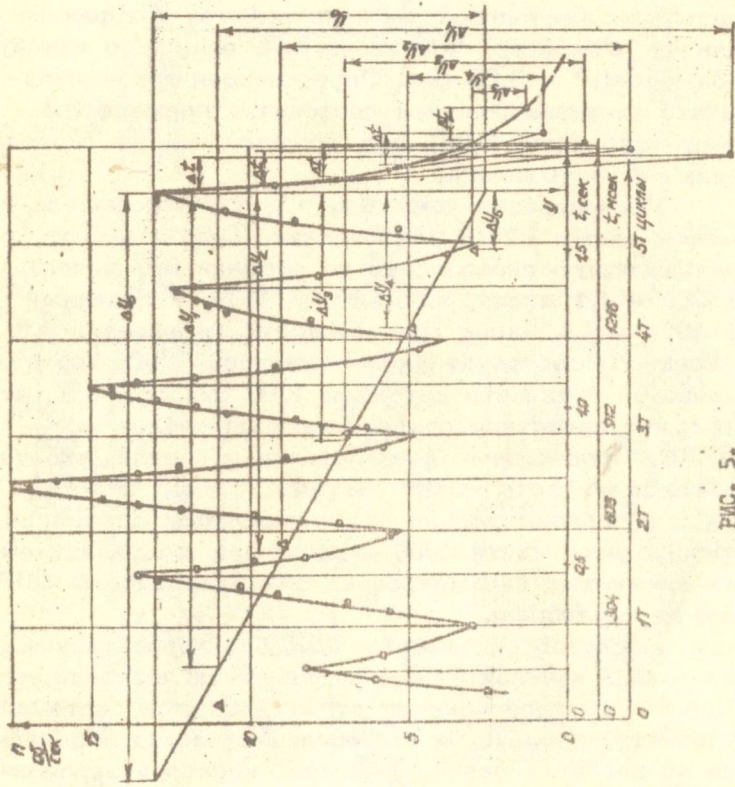
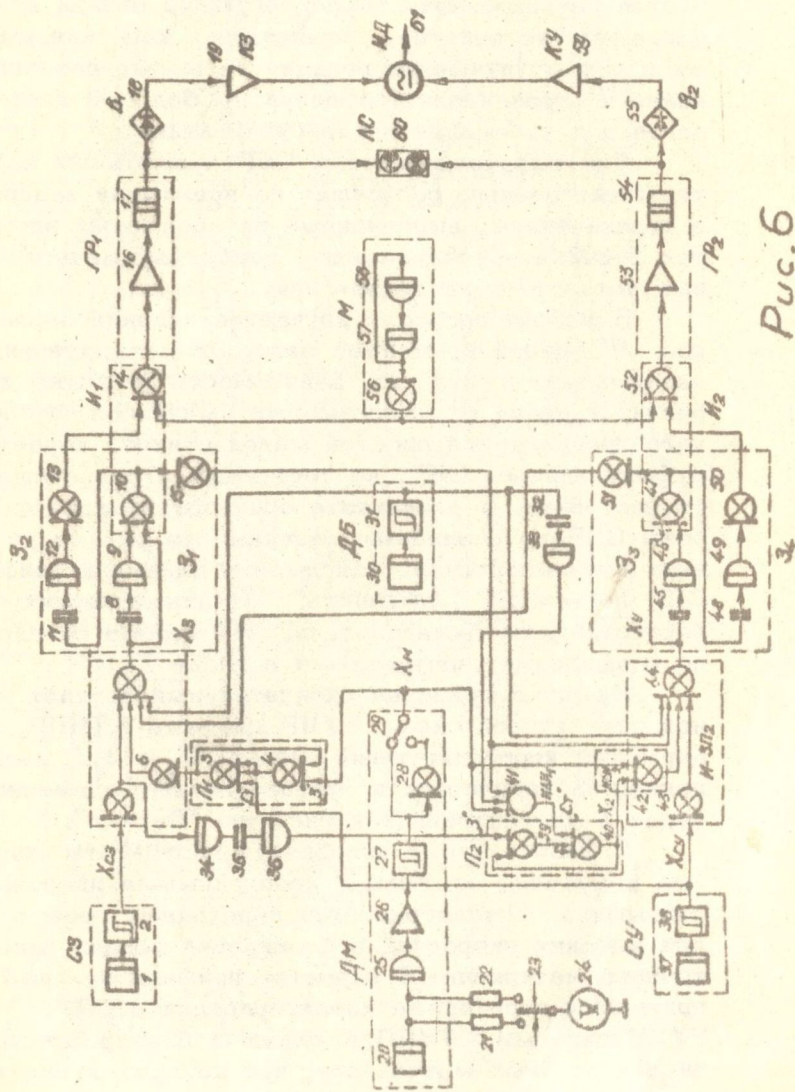


FIG. 5.

динамическими свойствами — "Ускорить". На рис.5 приведены кривые разгона и выбега ИД при импульсном управлении /длительность импульса 160 мсек, скважность 0,53, скорость главного привода соответствует производительности 200 циклов/мин/. Там же приводится графическое построение для определения постоянной времени выбега, которая по каналу "Ускорить" составила 0,05 сек, а по каналу "Замедлить" — 0,06 сек. Определенная из эксперимента электромагнитная постоянная времени ИД составила всего 0,004 сек, поэтому при рассмотрении не учитывалась.

Исследования показали, что простейшие элементы схемы РУЦР /фотодатчик, Т-101/ имеют разрешающую способность по времени 0,8 мсек Т-202 — 1,4 мсек, элемент ПАМЯТЬ /двоенный Т-101/ — 3,8 мсек /длительности импульса в 3,8 мсек соответствует рассогласование 0,006 мм при производительности автомата 1000 циклов/мин/, что и может считаться разрешающей способностью РУЦР. Проведенные исследования показали, что управляющая часть РУЦР системы КТИПП может быть аппроксимирована безынерционным звеном до производительности 1000 циклов/мин, т.е. влиянием ее временных параметров на динамику работы СЦР можно пренебречь.

Исследования работы СЦР без корректирующих звеньев в каналах управляющей части показали, что большие рассогласования отрабатываются системой удовлетворительно, а на небольшие, порядка допуска на рассогласование /±5 мм/, нескорректированная система реагирует плохо, причем зона нечувствительности растет с ростом производительности от 7 мм при  $Q = 500$  циклов/мин до 13 при  $Q = 1000$  циклов/мин, что объясняется особенностями работы одноимпульсного тиристорного выпрямителя в РУЦР.



Puc. 6

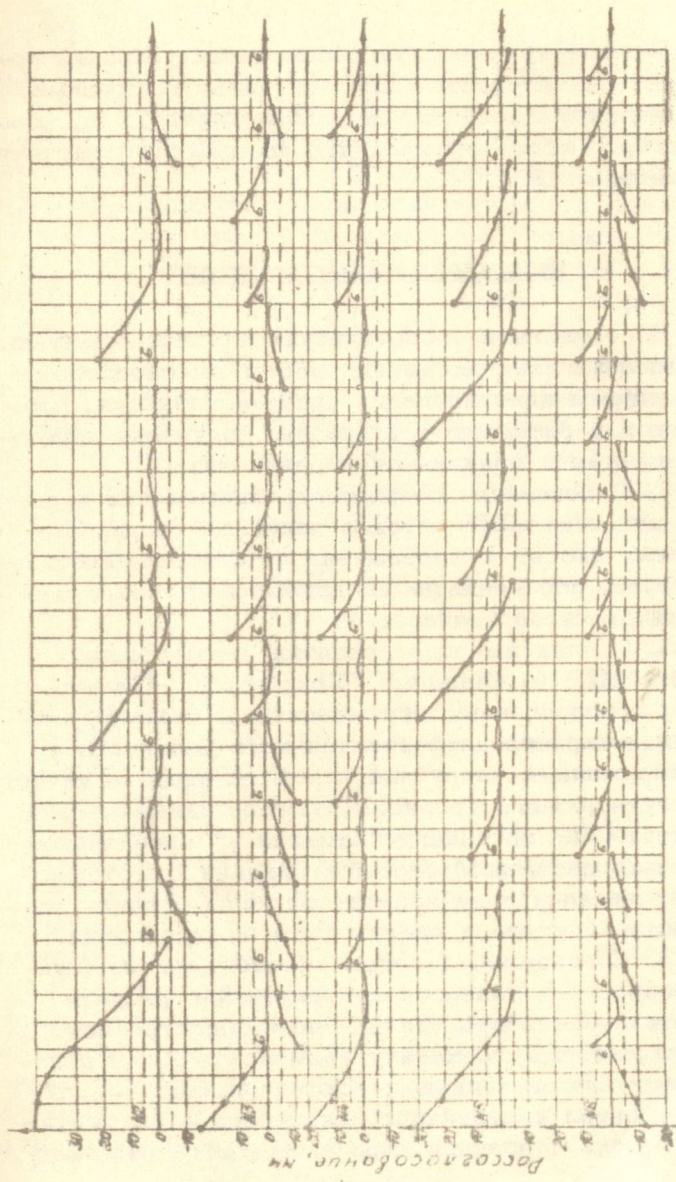
Необходимые для получения удовлетворительного качества центрирования корректирующие звенья должны содержать устройство, расширяющее короткие импульсы с целью улучшения реакции на малые рассогласования и ограничивающее импульсы большой длительности для избежания перерегулирования.

Для высокоскоростных СЦР предложены корректирующие звенья, состоящие из временной задержки с ограничением, выполненные на временных элементах Т-302 и обеспечивающие требуемые качественные показатели центрирования.

В работе подробно изучается влияние параметров  $RC$ -цепей временных задержек на длительность задержанных импульсов, зависимость величины коррекции в цикле от длительности импульсов, после чего предлагается простой метод синтеза корректирующих звеньев СЦР, не требующий в дальнейшем их настройки. В результате осциллографирования работы СЦР по различным каналам при равных условиях доказывается независимость динамики работы СЦР по каналу "Замедлить" от динамических особенностей узла бумагоподачи, что хорошо согласуется с выводами, полученными в главе II.

На рис.6 приведен окончательный вариант полной структурной схемы РУЦР системы КТИПП, содержащей корректирующие звенья  $Z_1 + Z_4$ , выполненной на логических и функциональных элементах серии Т унифицированной системы "Логика".

В работе также приводятся результаты статочных испытаний системы с необходимыми цифровыми данными и осциллограммами переходных процессов при высоких скоростях и блокировке подачи заверточного материала. В качестве примера на рис.7 приведены переходные характеристики в СЦР с РУЦР системы КТИПП в условиях блокировок подачи заверточных материалов, при которых в систему вносятся рассогласования.



УКЛОН  
РИС. 7.

Рекомендуются пути обеспечения условий преимущественной работы СЦР по каналу с лучшими динамическими свойствами /"Замедлить"/ и, кроме того, даются рекомендации по выбору и расчету параметров СЦР.

### ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате теоретических и экспериментальных исследований динамики работы высокоскоростной системы центрирования рисунка этикетки, проведенных в реферируемой работе, получены следующие научные и практические результаты:

1. Обоснована возможность применения к расчету динамики СЦР методов линейной теории импульсных систем и предложена ее алгоритмическая структура, обеспечивающая приемлемую для инженерных расчетов точность.

2. Сделан вывод о различии динамических свойств СЦР по каналам "Ускорить" и "Замедлить", обусловленных применением в цепи коррекции планетарного дифференциального редуктора с самотормозящей червячной парой на входе в качестве регулирующего органа. При этом динамические свойства СЦР по каналу "Замедлить" определяются только динамикой растормаживания самотормозящей передачи и не зависят от динамических особенностей и условий работы узла бумагоподачи.

3. Предложено с целью дальнейшего повышения скорости и точности центрирования рисунка этикетки обеспечить условия преимущественной работы системы по каналу "Замедлить", как обладающему лучшими динамическими свойствами, путем введения настроечного вариатора в кинематическую цепь коррекции /при этом также отпадает

необходимость учета динамических свойств узла бумагоподачи при анализе и расчете СЦР/.

4. Предложен метод синтеза корректирующих звеньев СЦР, позволяющий получить желаемую регулировочную характеристику без дополнительной настройки, базирующийся на полученных в работе временных характеристиках элементов системы "Логика", применяемых в корректирующих звеньях, и зависимостях величины коррекции в цикле от длительности управляющих импульсов.

5. Предложена методика учета нелинейных свойств однопульсного тиристорного выпрямителя в системе с широтно-импульсной модуляцией введением звена чистого запаздывания, имеющего максимально возможное запаздывание /зону нечувствительности/ равное  $1/2$  периода напряжения питания.

6. Определены передаточные свойства исполнительного двигателя СЦР при питании его якоря напряжением, пульсирующим с частотой сети после однопульсного выпрямления.

7. Подтверждена экспериментально правомерность аппроксимации динамических свойств исполнительного двигателя при анализе динамики работы СЦР последовательным соединением апериодического и интегрирующего звеньев.

8. Предложен достаточно простой метод расчета скорости и пути исполнительного двигателя с учетом особенностей импульсного питания цепи якоря, результаты которого хорошо совпадают с экспериментальными данными.

9. Получены выражения передаточной и комплексной передаточной функций, а также амплитудно-фазовая характеристика разомкнутой СЦР; проведен анализ устойчивости импульсной СЦР с использованием  $Z$ - и  $w$ -преобразований и применением аналогов критериев устойчивости импульсных

систем Рауса-Гурвица и Найквиста; получены уравнения и диаграммы устойчивости в области различных параметров.

10. Проведена окончательная доработка схемы РУЦР системы КТИПП /введены дополнительные блокировки, ограничители временной задержки, фильтры высокочастотных помех и т.д./ с учетом специфики работы в реальных производственных условиях.

В результате проведенных исследований завершена разработка быстродействующего бесконтактного регулятора для центрирования рисунка этикетки в высокопроизводительных автоматах для заворачивания конфет и других штучных изделий.

Воспринимающий и управляющий блоки регулятора выполнены из элементов высокой надежности, что гарантирует его длительную безотказную работу в производственных условиях. Так, например, в качестве чувствительных элементов датчиков и синхронизатора применены германиевые диффузионные фототранзисторы типа ФТГ-2, имеющие гарантированный срок службы не менее 10000 часов; управляющий блок собран из логических и функциональных элементов серии Т системы "Логика", исключающих отказ в работе в течение 40000 часов; в качестве ключей управления исполнительным /регулирующим/ электродвигателем использованы кремниевые вентили-тиристоры.

Быстродействие исследованного регулятора системы КТИПП в 3-4 раза превышает быстродействие лучших образцов подобных устройств, демонстрировавшихся на выставке "Инпродмаш-87", что открывает возможность для дальнейшего повышения производительности заверточных автоматов с центрированием рисунка вплоть до 1000-1200 циклов заворачивки в минуту /производительность известных об-

разцов автоматов подобного типа не превышает 400 циклов/мин/.

Внедрение исследованных в работе РУЦР системы КТИПП будет произведено УкрНИИПРОДМАШем на разработанных им высокопроизводительных /до 600 шт/мин/ заверточных автоматах для мягких глазированных конфет /опытный образец такого автомата находится в стадии производственных испытаний/.

Экономический эффект внедрения РУЦР системы КТИПП проявится при серийном производстве автоматов, оснащенных СЦР, за счет повышения быстродействия, надежности и производительности труда, сокращения производственных площадей и улучшения внешнего вида заворачиваемых изделий. Экономическая эффективность от внедрения одного автомата в кондитерскую промышленность может составить, по данным УкрНИИПРОДМАШа, около 4,0 + 5,0 тысяч рублей в год при общей потребности кондитерской промышленности в 350 -400 таких автоматов.

Проведенные в настоящей работе исследования выполнялись применительно к автоматам для завертывания мягких глазированных конфет, однако, полученные результаты исследования системы центрирования рисунка этикетки могут быть использованы при создании и модернизации заверточных автоматов других типов, предназначенных как для работы в пищевой промышленности, так и в различных других отраслях промышленности.

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ  
СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:

1. ЛУЦИК В.Й., КОРОЛЬ Н.І., ГОНЧАРЕНКО Б.М.,  
Автоматична блокіровка подачі виробів і об-  
горткових матеріалів у загорткових автоматах,  
укр. язык, "Харчова промисловість", 1987,  
№ 2.
2. ЛУЦЫК В.И., ГОНЧАРЕНКО Б.Н., КОРОЛЬ Н.И.,  
Быстродействующие бесконтактные реверсив-  
ные устройства для центрирования рисунка  
этикетки в заверточных автоматах, "Хлебопе-  
карная и кондитерская промышленность",  
1987, № 11.
3. ЛУЦЫК В.И., ГОНЧАРЕНКО Б.Н., КОРОЛЬ Н.И.,  
Быстродействующие бесконтактные реверсив-  
ные устройства для центрирования рисунка  
этикетки в заверточных автоматах, "Хлебопе-  
карная и кондитерская промышленность",  
1988, № 5.
4. ЛУЦЫК В.И., ГОНЧАРЕНКО Б.Н., ЦЕЙТЛИНГ Е.  
Исследование быстродействия электромехани-  
ческих блокировок автомата для завертыва-  
ния глазированных конфет, В сб. "Пищевая  
промышленность", № 8, К., "Техніка", 1968.
5. ГОНЧАРЕНКО Б.Н., ЛУЦЫК В.И., СКОБЛОД.И.,  
Анализ автоматической системы центрирова-  
ния рисунка этикетки в высокопроизводитель-  
ных заверточных автоматах, В сб. "Механи-  
зация и автоматизация основных и вспомога-  
тельных производственных процессов", К. -  
1968.

6. ЛУЦЫК В.И., КОРОЛЬ Н.И., ГОНЧАРЕНКО Б.Н.  
Быстродействующее бесконтактное устройство автоматической блокировки подачи изделий и оберточных материалов в заверточных автоматах, В сб. "Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в ВУЗах УССР", К., 1968.
7. ЛУЦЫК В.И., ГОНЧАРЕНКО Б.Н., КОРОЛЬ Н.И.  
Быстродействующие бесконтактные реверсивные устройства для центрирования рисунка этикетки в заверточных автоматах, В сб. "Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в ВУЗах УССР", К., 1968.
8. ЛУЦЫК В.И., ГОНЧАРЕНКО Б.Н., КОРОЛЬ Н.И.,  
Быстродействующие бесконтактные неверенские устройства для центрирования рисунка этикетки в заверточных автоматах, В сб. "Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в ВУЗах УССР", К., 1968.
9. ЛУЦЫК В.И., ГОНЧАРЕНКО Б.Н., КОРОЛЬ Н.И.,  
Устройство для автоматической блокировки механизмов подачи изделия и обертки в заверточных машинах, Авт. свид. № 225760, 1968.
10. ЛУЦЫК В.И., ГОНЧАРЕНКО Б.Н., КОРОЛЬ Н.И.,  
Механизм подачи рулонной ленты в заверточных и им подобных машинах, Авт. свид. № 225761, 1968.
11. ЛУЦЫК В.И., ГОНЧАРЕНКО Б.Н., КОРОЛЬ Н.И.,  
Механизм подачи рулонной ленты в заверточных и им подобных машинах, Авт. свид. № 225762, 1968.

12. ГОНЧАРЕНКО Б.Н., ЛУЦИК В.И., Логічний пристрій для автоматичної блокування в цукеркозагорткових автоматах, укр. язык, "Харчова промисловість", 1968, № 6.
13. ГОНЧАРЕНКО Б.М., ЛУЦИК В.И., Логічні швидкодіючі безконтактні пристрої у цукеркозагорткових автоматах, укр. язык, "Харчова промисловість", 1969, № 4.
14. ГОНЧАРЕНКО Б.М., ЛУЦЫК В.И., СКОБЛО Д.И., Подача оборотных материалов с индивидуальной этикеткой в заверточных автоматах, В сб. "Пищевая промышленность", № 9, К., "Техніка", 1969.

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ  
СДЕЛАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ ДОКЛАДЫ:

1. На XXXII Научной конференции КТИПП, 1966 г. "Безконтактні напівпровідникові регулятори для центрування малюнка етикетки в загортальних та пакувальних автоматах".

П. На XXXIII Научной конференции КТИПП, посвященной 50-летию Великой Октябрьской социалистической революции, 1967 г. "Дослідження швидкодіючих безконтактних пристроїв для центрування малюнка етикетки в пакувальних, загортувальних автоматах".

Ш. На XXXIV Научной конференции КТИПП, 1968 г.

1. "Про застосування логічних елементів єдиної серії ЕТ у схемах автоматизації загортувальних машин".

2. "Динамічний та структурний аналіз паперо-  
живильного пристрою цукеркозагортувального автома-  
та як об'єкта керування".

1У. На научно-технической конференции "Меха-  
низация и автоматизация основных и вспомога-  
тельных производственных процессов", 1968 г. "Анализ  
автоматической системы центрирования рисунка эти-  
кетки в высокопроизводительных заверточных авто-  
матах".

У. На XXXУ Научной конференции КТИПП, по-  
священной 100-летию со дня рождения В.И.ЛЕНИНА,  
1969 г.

1. "Анализ динамики работы и синтез коррек-  
тирующих устройств автоматической системы центриро-  
вания рисунка этикетки".

2. "Экспериментальное исследование влияния  
параметров корректирующих устройств на качествен-  
ные показатели автоматической системы центрирова-  
ния рисунка этикетки".

---