

РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН
НАВОЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ
НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

УДК 66.012-52.678

Хайдаров Азиз Базарович

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

на тему:

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ
ПРОЦЕССОМ РЕЗАТЕЛЬНОГО СТАНКА

по направлению: 5521800 – «Автоматизация и управление»

НАВОЙ – 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ РЕЗАНИЯ СУХОГО ЖГУТА

- 1.1. Описание структуры резательного станка и постановка задачи
- 1.2. Описание математической модели резательного станка
- 1.3. Алгоритмы проектирования системы стабилизации
- 1.4. Этапы получения переходных процессов

ГЛАВА 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ

- 2.1. Постановка задачи
- 2.2. Анализ исходных данных
- 2.3. Анализ процесса резания как ОУ
- 2.4. Разработка структурной схемы САР
- 2.5. Анализ устойчивости некорректированной САР
- 2.6. Синтез САР с заданными показателями качества
- 2.7. Анализ качества САР

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ЛИТЕРАТУРА

ВВЕДЕНИЕ

В практике проектирования систем автоматического управления (САУ) довольно часто возникает ситуация, когда реальные значения отдельных параметров объекта управления неизвестны, неизменяемы и отсутствует какое-либо их статистическое описание. Неопределенности в параметрах могут появиться вследствие различных причин: использования при расчёте системы управления упрощенных моделей, аппроксимирующих реальный физический процесс, неполноты идентификации неизвестных переменных, наличия нестационарных коэффициентов в уравнениях математической модели объекта. Кроме того, на объект управления могут влиять, например, такие технологические факторы, как дефекты оборудования, вибрации, неравномерность хода, изменения режимов работы, погрешности измерительных инструментов, неточность шкал. Эксплуатационные особенности, к числу которых относят старение и износ элементов оборудования, колебания температуры, влажности, давления и другие внешние воздействия, также могут привести к отклонению реальных характеристик от номинальных значений. Во всех перечисленных случаях характер вариаций неизвестных параметров САУ считают неопределённым, так как их изменения подчинены лишь априорным ограничениям. Исследования таких САУ выполняют в рамках теории управления в условиях неопределённости. Для решения задач управления объектами с неопределёнными параметрами обычно привлекают методы минимакса и теории игр, теории стохастического управления, теории адаптивных систем. Использование того или иного подхода зависит от вида неопределённостей и требований, предъявляемых к структуре и качеству САУ.

Одним из магистральных направлений, в рамках которого продолжают исследования вопросов управления в условиях неопределённости, является подход, основанный на методах теории чувствительности. Вначале проблема конструирования робастных систем регулирования, нечувствительных к

вариациям параметров, рассматривалась для класса систем с одним входом и одним выходом . Далее, эти результаты были распространены на случай системы с несколькими входами, представленной частотной областью, так и в пространстве состояний .

Среди других путей развития теории робастного управления следует отметить стохастический подход, где используется вероятностное описание неопределенных параметров.

Ещё одним направлением проектирования робастных САУ можно считать подход, использующий методы минимакса и теории игр . В этом случае совокупность неопределённых параметров объекта рассматривается как стратегия игрока – союзника и выбирают из условий минимизации того же критерия.

К числу существенных недостатков минимаксных методов, применяемых для синтеза робастных систем, относят, прежде всего, сложность и большой объём вычислений. Как при использовании стохастического подхода, так и в указанном методе для получения оптимального управления необходимо решать модифицированное уравнение Риккати.

Для синтеза систем управления, не терпящей устойчивости в условиях неопределенности параметров можно привлечь второй метод Ляпунова . Преимущество данного подхода, в основу которого положено конструирование функций Ляпунова, состоит в возможности его применения к системам различного типа: непрерывным, дискретным, нелинейным, нестационарным.

В последние годы в проектировании робастных САУ появилось ещё одно направление, отличительной чертой которого является описывающие неопределенных параметров с помощью числовых интервалов и использование при синтеза специального математического аппарата – интервального анализа. В основу последнего положено понятие интервального числа, представляющего собой двухпараметрическое множество, состоящее из вещественных чисел, находящихся между заданными границами на числовой оси. Преимущество предлагаемого подхода состоит в том, что для расчётов достаточно знать

нижнюю и верхнюю границы диапазонов изменения неопределенных параметров, которые обычно известны на практике.

Данная выпускная работа носит научно-теоретический характер, и она состоит из двух глав.

В первой главе выпускной работы разработана интервальная система управления технологическим процессом резания сухого жгута из волокна «Нитрон» на короткие отрезки заданной длины в резательной машине типа МРБ-100. Рассчитаны коэффициенты передачи динамического регулятора, гарантирующего астатическое регулирование натяжения сухого жгута перед ножевым валом при любых допустимых изменениях неопределенных параметров.

Целью **второй главы** является проектирование системы автоматического регулирования (САР) температуры в зоне резания. Данная САР должна поддерживать температуру в области резания на заданном уровне с определенной точностью и отвечать требованиям точности и быстродействия. Для анализа и синтеза САР в данной работе применен метод логарифмических частотных характеристик (ЛЧХ). Данный метод является наиболее удобным благодаря простоте, наглядности и точности.

ГЛАВА 1.СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ РЕЗАНИЯ СУХОГО ЖГУТА

В настоящей главе в качестве объекта управления будет рассмотрена резательная машина МРБ-100, предназначенная для переработки (резания) непрерывно поступающего сухого жгута из волокна «Нитрон» на короткие отрезки заданной длины.

1.1.Описание структуры резательного станка и постановка задачи

Резательный станок имеет сложную структуру (рис. 1.1), основными элементами которой являются валы, связанные между собой жгутами из волокна и находящиеся на них шкивы, соединенные ременными передачами. Система электропривода, управляющая движением резательной машины, включает в себя двигатель главного привода и электродвигатели постоянного тока, обеспечивающие приема волокна в шахту. Расчет параметров системы управления технологическим процессом можно выполнять, взяв за основу четырехмассовую модель, которая отражает основные особенности движения и динамику натяжения жгута волокна в жгуто-проводящем тракте резательной машины. Упрощенная физическая модель станка (см. рис. 1.2) состоит из раската 1 с тормозным генератором, петлевого валика 3, промежуточного вала с электродвигателем 5, ножевого барабана 7, шахту и свободных участков полотна 2-4, 6. Жгут из волокна на раскате 1 вращается под действием момента, создаваемого тормозным генератором. Петлевой валик 3 подвешен с возможностью качания и может отклоняться от вертикальной оси на $\pm 15^\circ$. Электродвигатель постоянного тока приводит в движение промежуточный вал 5. Функционирование модели было исследовано на этапе, когда завершён разгон станка до заданной рабочей скорости и в ППТ установлен требуемый уровень натяжения. Основная проблема заключается в поддержании номинальных значений параметров технологического процесса в течение заданного промежутка времени.

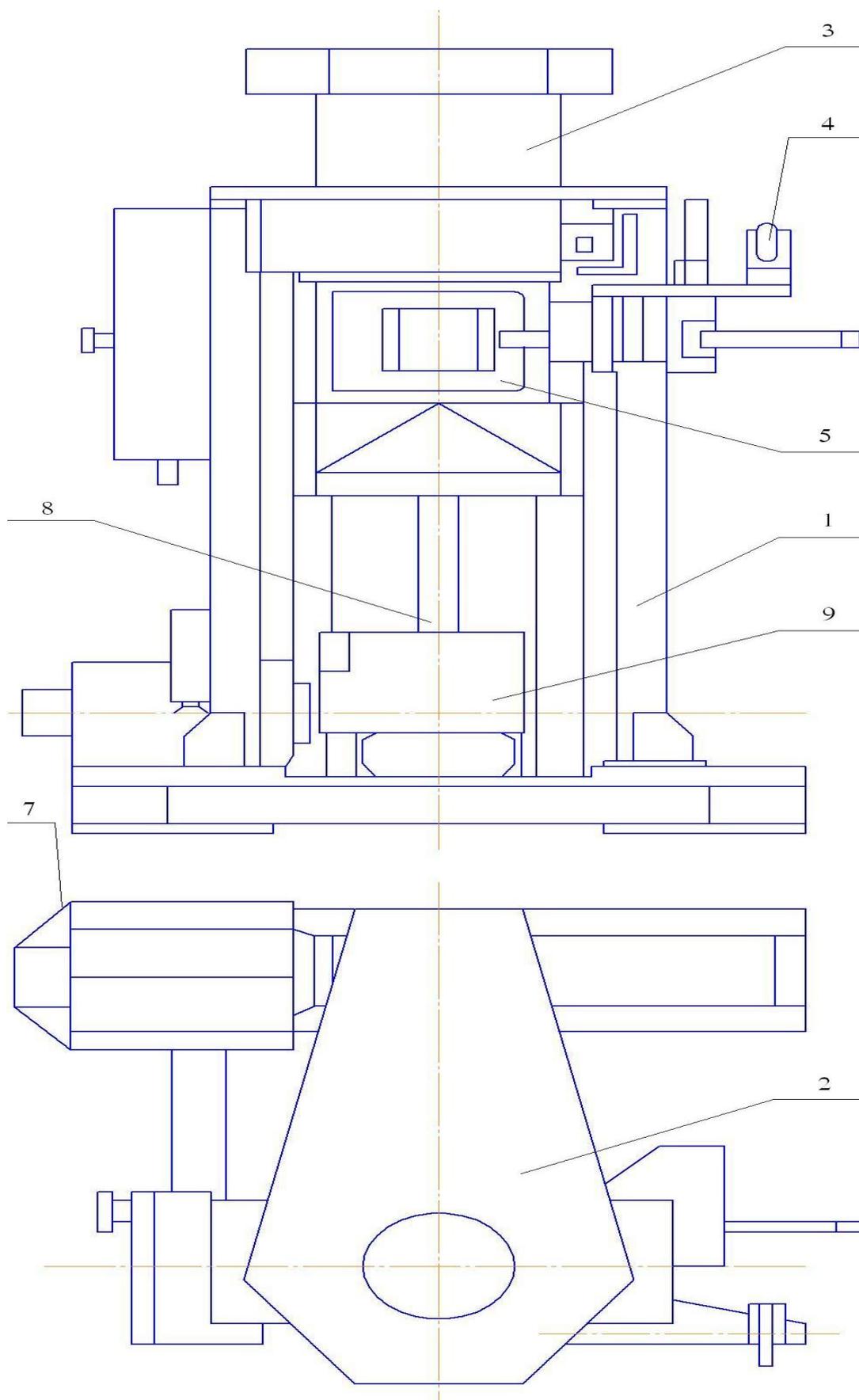


Рис. 1.1. Схематичный вид резательной машины МРБ-100:

1-остов; 2-горизонтальная каретка; 3-ножевой барабан; 4-жгутонаправнитель; 5-шахта; 6-цепной вариатор скорости; 7-электродвигатель постоянного тока; 8-ведущий вал; 9-редуктор.

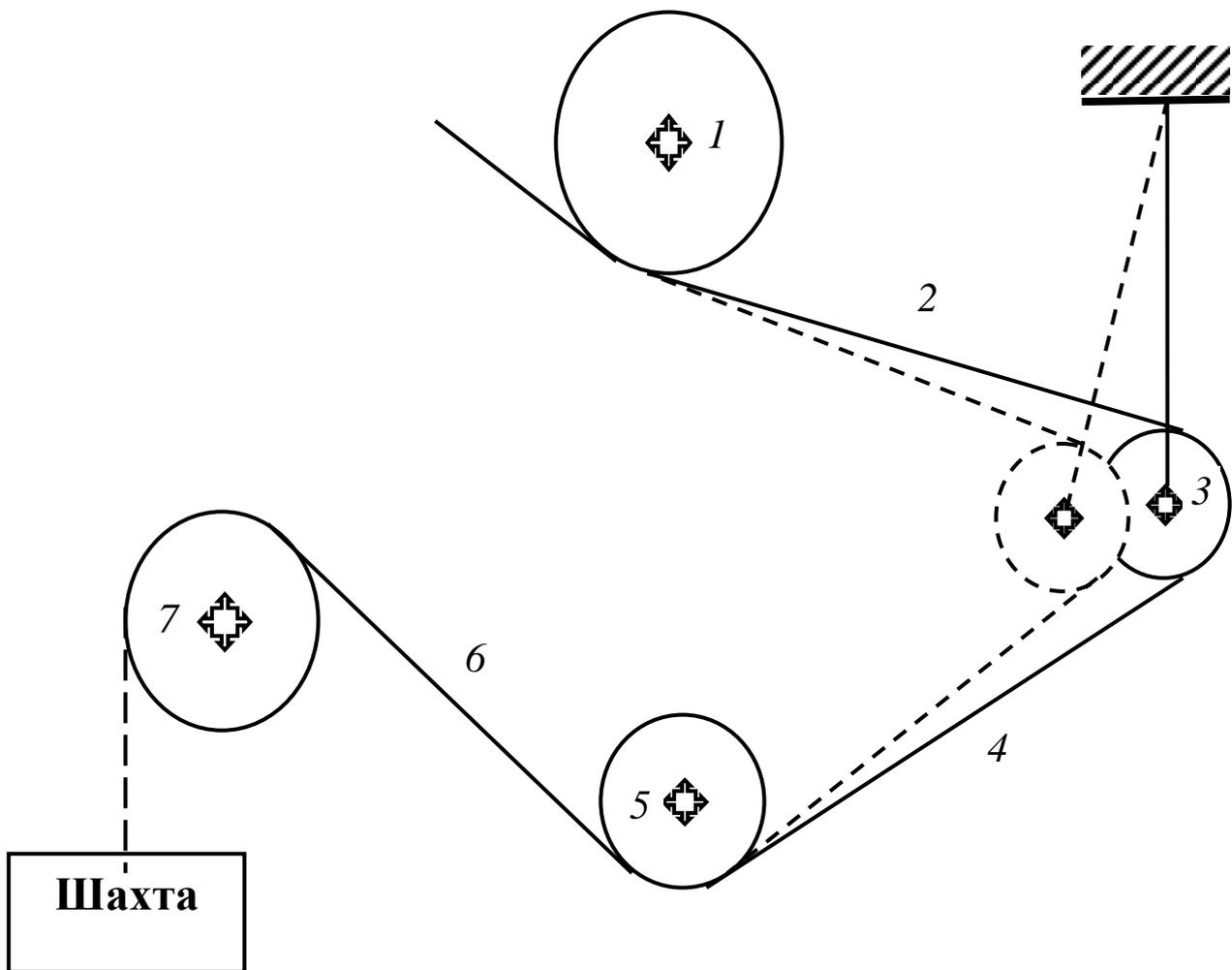


Рис. 1.2. Упрощенная физическая модель станка

На этапе предварительного проектирования для расчета параметров системы электропривода резательного станка (РС) часто используют математические модели, для отдельных коэффициентов которых известны только диапазоны их изменения. Наличие неопределенностей в параметрах моделей РС обусловлено как технологическими причинами – колебаниями режимов работы, так и использованием при синтезе системы управления минимально возможного числа уравнений, которые приближенно описывает реальный технологический процесс в сложном многомассовом объекте

[289,290]. Влияние указанных факторов следует учитывать при выборе законов управления, которые, кроме обеспечения заданного режима работы, должны гарантировать высокое качество резания волокна и не требовать при реализации больших материальных затрат. Один из подходов к решению поставленной задачи состоит в применении разработанных выше алгоритмов идентификации и синтеза адаптивно-интервальных регуляторов.

1.2. Описание математической модели резательного станка

Анализ переходных характеристик и результаты предварительных исследований позволяют записать уравнения рассматриваемого объекта в виде

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) \quad (1)$$

$$y(t) = Hx(t) \quad (2)$$

где

$x(t) = (\Delta T_2(t), \Delta v_1(t), \Delta v_2(t))^T$, $u(t) = (\Delta u_{об}(t), \Delta u_{ТТ}(t))^T$, $y(t) = (\Delta T_2(t), \Delta v_2(t))^T$ - малые отклонения текущих векторов состояния, входов и регулируемых переменных. Здесь: $T_2(t)$ - силы натяжения полотна на свободном участке 2-4, $v_1(t)$, $v_2(t)$ - линейные скорости раската и промежуточного вала, $u_{об}(t)$ - напряжение в якорной цепи электродвигателя, вращающего промежуточный вал, $u_{ТТ}(t)$ - напряжение в якорной цепи тормозного генератора.

Матрицы H , $A(t)$, $B(t)$ имеют следующую структуру

$$A(t) = \begin{pmatrix} a_{11}(t) & a_{12}(t) & a_{13}(t) \\ a_{21}(t) & a_{22}(t) & 0 \\ a_{31} & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad B(t) = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & b_{22}(t) \\ b_{31} & 0 \end{pmatrix}, \quad H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Их элементы зависят от параметров номинального режима и момента времени

$$a_{11}(t) = \frac{A \cdot v_2^H}{(T^H + A)D_2(t)}, \quad a_{12}(t) = -\frac{T^H + A}{D_2(t)}, \quad a_{13}(t) = \frac{A}{D_2(t)},$$

$$a_{21}(t) = \frac{R_1^2(t)}{J_1(t)}, \quad a_{22}(t) = \frac{(cK_b i_b^H)^2}{J_1(t)R_{яц}}, \quad a_{31}(t) = \frac{R_2 R_{22}}{J_2}, \quad (4)$$

$$b_{22} = -\frac{R_2 R_{22} C_\phi}{J_2 R_{яц}^{об}}, \quad b_{31}(t) = -c K_b R_1(t) i_b^H / J_1(t) R_{яц},$$

Здесь: J_k - моменты инерции петлевого валика относительно точки подвеса и длина подвески, $D_2(t)$ - длина свободного участка 2-4 (зависит от текущего значения радиуса $R_1(t)$ и угла отклонения φ петлевого валика). $R_2 = 0.105 \text{ м}$, $R_{21} = 0.525 \text{ м}$, $R_{22} = 0.0525 \text{ м}$ - радиусы, характеризующие систему валов, приведенных к валу двигателя, $J_1(t)$ - момент инерции раската, $J_{аб} = 0.443 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $J_{тг} = 0.2215 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - моменты инерции валов двигателя и тормозного генератора, $v_2^H = 6.67 \div 10 \text{ м/с}$ - номинальные значения промежуточного вала, $R_{яц}^{об} = 0.453 \text{ Ом}$ - сопротивление цепи электродвигателя, $c = 113$, $K_\epsilon = 0,0083 \text{ Вб/А}$, $C_\phi = 0,92 \text{ Вб}$ - постоянные параметры электродвигателя и тормозного генератора, $i_b^H = i_{тг}^H = 41.3 \text{ А}$ - номинальные значения сил токов в цепях тормозного генератора на раскате,

Итак, будем решать задачу стабилизации квазистационарной системы (1), (2) на промежутке времени $[0, T]$.

Рассмотрим процесс резания жгута волокна конкретного типа, допускающей напряжение волокна $\sigma^H = 0.5 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$, которому соответствует номинальное значение натяжения $T^H = T_2^H = T_3^H = 140 \text{ Н}$, при линейных скоростях пленки на раскате и промежуточном вале $v_1^H = 6.66 \text{ м/с}$, $v_2^H = 6.57 \text{ м/с}$. Подставим заданные характеристики технологического процесса в равенства (3) и используем полученные номинальные значения переменных состояния и входов для вычисления параметров (4). В результате получаем матрицы динамики $A(t)$ и входов $B(t)$, элементы которых зависят только от момента времени t .

Проанализируем, в каких пределах могут изменяться параметры (4) при $0 \leq t \leq T$. Так как вариации элементов $a_{12}(t)$, $a_{13}(t)$ для всех $0 \leq t \leq T$ не превышает 3 %, то при расчетах их можно считать постоянными. Запишем значения фиксированных элементов матриц $A(t)$, $B(t)$:

$$a_{12} = -38545, \quad a_{13} = 38495, \quad a_{31} = -0,0073256, \quad b_{31} = -0,014878. \quad (5)$$

Как следует из (4), квазистационарные параметры на отрезке времени $[0, T]$ могут изменяться в следующих диапазонах:

$$\begin{aligned} a_{11} &\in [-3.61, -2.41], \\ a_{21} &\in [0.0036233, 0.0037491], \\ a_{22} &\in [0.063918, 0.068375], \\ b_{22} &\in [-0.01353, -0.01286] \end{aligned} \quad (6)$$

Итак, поведение объекта (1), (2) на заданном промежутке времени $[0, T]$ можно описать линейной системой, матрицы динамики и входов которой

$$A = \begin{pmatrix} \mathbf{a}_{11} & a_{12} & a_{13} \\ \mathbf{a}_{21} & \mathbf{a}_{22} & 0 \\ a_{31} & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{b}_{22} \\ b_{31} & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

имеют постоянные (5) и неопределенные (6) элементы, причем относительно последних известно только то, что они могут принимать любые значения из заданных интервалов.

Исследования показали, что линейные стационарные системы, полученные при выбранных допустимых значениях неопределенных параметров, неустойчивы. Следовательно, для рассматриваемого объекта необходимо проектировать систему стабилизации, которая была бы инвариантной к допустимым изменениям неопределенных параметров.

1.3. Алгоритмы проектирования систему стабилизации

Постановка задачи 1. Для линеаризованной системы (1) – (2) требуется вычислить матрицу коэффициентов передачи $\bar{K} = \overleftarrow{K}_1 : \bar{K}_2$

$$\bar{K}_1 = \begin{pmatrix} \bar{K}_{11} & \bar{K}_{12} & \bar{K}_{13} \\ \bar{K}_{21} & \bar{K}_{22} & \bar{K}_{23} \end{pmatrix} \quad \bar{K}_2 = \begin{pmatrix} \bar{K}_{14} \\ \bar{K}_{24} \end{pmatrix} \quad (8)$$

регулятора , гарантирующего нулевую статическую ошибку регулируемой переменной $y(t) = \Delta T_2(t)$, $t \rightarrow \infty$ при произвольных допустимых значениях неопределенных параметров (5).

В постановке задачи предполагается, что задающее воздействие y_0 , к которому стремится регулируемый выход $y(t) = \Delta T_2(t)$, рассматриваемый как отклонение текущего натяжения $T_2(t)$ от номинального значения T^H , равно нулю: $y_0 \equiv 0$. Будем считать, что все компоненты вектора состояния $x(t)$ полностью доступны для измерения. Учитывая введенные обозначения (8) и равенства (1), (7), запишем расчетные формулы для управления с пропорциональной

$$\begin{aligned} u_{\text{ог}}(t) &= u_{\text{ог}}^H + K_{11}(T_2(t) - T^H) + K_{12}(v_1(t) - v_1^H) + K_{13}(v_2(t) - v_2^H), \\ u_{\text{тр}}(t) &= u_{\text{тр}}^H + K_{21}(T_2(t) - T^H) + K_{22}(v_1(t) - v_1^H) + K_{23}(v_2(t) - v_2^H) \end{aligned} \quad (9)$$

и пропорционально-интегральной обратной связью

$$\begin{aligned} u_{\text{ог}}^{(i)}(t) &= u_{\text{ог}}^H + \bar{K}_{11}(T_2(t) - T^H) + \bar{K}_{12}(v_1(t) - v_1^H) + \\ &+ \bar{K}_{13}(v_2(t) - v_2^H) + \int_0^t (T_2(t) - T^H) dt \\ u_{\text{тр}}(t) &= u_{\text{тр}}^H + \bar{K}_{21}(T_2(t) - T^H) + \bar{K}_{22}(v_1(t) - v_1^H) + \\ &+ \bar{K}_{23}(v_2(t) - v_2^H) + \bar{K}_{24} \int_0^t (T_2(t) - T^H) dt \end{aligned} \quad (10)$$

Совокупность уравнений (1), (2) с равенством (7) или (8) представляет собой систему управления технологическим процессом резания жгута волокна «нитрон».

1. Выполним аппроксимацию объекта (6), (5), (4) линейной динамической системой, матрицы динамики \mathbf{A} и входов \mathbf{B} которой состоят из интервальных элементов

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \mathbf{a}_{11} & a_{12} & a_{13} \\ \mathbf{a}_{21} & \mathbf{a}_{22} & 0 \\ a_{31} & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{b}_{22} \\ b_{31} & 0 \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Интервалы $\mathbf{a}_{11}, \mathbf{a}_{21}, \mathbf{a}_{22}, \mathbf{b}_{22}$ сформированы из диапазонов (5), параметры $a_{12}, a_{13}, a_{31}, b_{31}$ представляют собой вырожденные интервальные числа, нижние

и верхние границы которых равны и имеют те же значения, что элементы (5). Поскольку матрицы A и B совпадают с матрицами центров интервальных матриц $mid(\mathbf{A})$, $mid(\mathbf{B})$, то $mid(\mathbf{A}) \in \mathbf{A}$, $mid(\mathbf{B}) \in \mathbf{B}$.

2. Для исследования асимптотической устойчивости интервальной системы (1) вычислим коэффициенты характеристического полинома $\varphi_A(S) = S^3 + \mathbf{b}_2 S^2 + \mathbf{b}_1 S + \mathbf{b}_0$ матрицы динамики \mathbf{A} .

Алгоритм 1

1.1. По формулам из [2] найдем интервалы $\mathbf{D}(S)$, $S = 0, 1, 2$.

$$\mathbf{D}(0) = (-1)^3 \det \mathbf{A} = -\det \mathbf{A} = -a_{13} a_{31} a_{22} = \alpha_0 = [-19.281679, -18.02481],$$

$$\mathbf{D}(1) = \det(I_3 - \mathbf{A}) = [405.48827, 412.86451],$$

$$\mathbf{D}(2) = \det(2I_3 - \mathbf{A}) = [840.94147, 856.84599]$$

1.2. Определим длины интервалов $\mathbf{D}(S)$, $S = 0, 1, 2$.

$$wid(\mathbf{D}(2)) = 15,90492, \quad wid(\mathbf{D}(1)) = 7.37624, \quad wid(\mathbf{D}(0)) = 1.256869.$$

1.3. По формулам [2] найдем интервалы $\tilde{\mathbf{D}}(S)$, $S = \overline{1}, \overline{2}$

$$\tilde{\mathbf{D}}(1) = [422.76994, 428.88932], \quad \tilde{\mathbf{D}}(2) = [844.22314, 858.8708.]$$

Вычислим векторы нижних \underline{b} и верхних \overline{b} границ интервального вектора \mathbf{b}

$$\underline{b} = \begin{pmatrix} 423.76994 \\ 852.22314 \end{pmatrix}, \quad \overline{b} = \begin{pmatrix} 429.88932 \\ 866.8702 \end{pmatrix}.$$

1.4. Сформируем матрицу Вендермонда C_2 для $n = 3$ и найдём обратную матрицу C_2^{-1}

$$C_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 4 & 2 \end{pmatrix}, \quad C_2^{-1} = \begin{pmatrix} -1 & 0,5 \\ 2 & -0,5 \end{pmatrix}.$$

1.5. Определим векторы нижних $\underline{\alpha} = (\underline{\alpha}_2, \underline{\alpha}_1)^T$ и верхних $\overline{\alpha} = (\overline{\alpha}_2, \overline{\alpha}_1)^T$ границ искомого интервального вектора $\mathbf{b} = \mathbf{b}_2, \mathbf{b}_1$

$$\underline{\alpha} = C_2^{-1} \underline{b} = \begin{pmatrix} 2.34163 \\ 421.42831 \end{pmatrix}, \quad \overline{\alpha} = C_2^{-1} \overline{b} = \begin{pmatrix} 3.54608 \\ 426.34324 \end{pmatrix}.$$

Итак, характеристический полином матрицы динамики \mathbf{A} (11) разомкнутой интервальной системы будет иметь вид

$$\varphi_{\mathbf{A}}(S) = S^3 + \mathbf{b}_2 S^2 + \mathbf{b}_1 S + \mathbf{b}_0,$$

где

$$\begin{aligned} \mathbf{b}_2 &= [-0.34163, 3.54608], & \mathbf{b}_1 &= [21.42831, 426.34324], \\ \mathbf{b}_0 &= [-19.281679, -18.02481]. \end{aligned}$$

Поскольку коэффициент \mathbf{b}_0 суть интервал с отрицательными границами, то характеристический полином $\varphi_{\mathbf{A}}(S)$ неустойчив, что свидетельствует об отсутствии устойчивости у интервальной системы (11).

3. Проанализируем управляемость интервального объекта (11). С этой целью рассмотрим интервальную матрицу управляемости

$$\mathbf{Y}(\mathbf{A}, \mathbf{B}) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & a_{13}b_{31} & a_{12}b_{22} & * & * \\ 0 & \mathbf{b}_{22} & 0 & a_{22}b_{22} & * & * \\ b_{31} & 0 & 0 & 0 & * & * \end{pmatrix},$$

где через * обозначены элементы подматрицы $\mathbf{A}^2\mathbf{B}$. Очевидно, что из первых трёх столбцов $\mathbf{Y}(\mathbf{A}, \mathbf{B})$ можно сформировать квадратную матрицу третьего порядка

$$\mathbf{Y}_n = \begin{pmatrix} 0 & 0 & a_{13}b_{31} \\ 0 & \mathbf{b}_{22} & 0 \\ b_{31} & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

для которой по алгоритму 2 вычислим интервал \mathbf{D} , содержащий определитель.

Алгоритм 2

2.1. Представим интервальный элемент \mathbf{b}_{22} в виде $\mathbf{b}_{22} = mid(\mathbf{b}_{22}) + wid(\mathbf{b}_{22})\mathbf{e}$, где согласно (6), $mid(\mathbf{b}_{22})$ и $wid(\mathbf{b}_{22})$ имеют следующие значения:

$$mid(\mathbf{b}_{22}) = \frac{\underline{b}_{22} + \bar{b}_{22}}{2} = -0.013195,$$

$$wid(\mathbf{b}_{22}) = \frac{\bar{b}_{22} - \underline{b}_{22}}{2} = 0.00067,$$

$\mathbf{e} = [-1, 1]$ - симметричный интервал.

2.2. Сформируем матрицы

$$Y_0 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & a_{13}b_{31} \\ 0 & b_{22}^0 & 0 \\ b_{31} & 0 & 0 \end{pmatrix}, Y_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_{22}^1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

и вычислим определитель $\det(Y_0) = -b_{31}^0 b_{22}^0 a_{13} = 0.11243539$.

2.3. Сформируем различные матрицы Y_k^i и вычислим $|\det \bar{Y}_k^i|$, $i = \overline{1,2}$, $k = \overline{1,2}$. Единственная невырожденная матрица

$$Y_2^1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & a_{13}a_{31}k \\ 0 & b_{22} & 0 \\ b_{31} & 0 & 0 \end{pmatrix}, L_2 = J_1 \in \mathbb{R}^1$$

позволяет получить

$$\det \bar{Y}_{22}^1 = \max_{L_2} |\det Y_2^1| = -b_{31}^1 \cdot b_{22}^1 a_{13} = 0.0057091106 = S_n^2$$

2.4. Определим границы интервала

$$\mathbf{D} \supseteq \det(\mathbf{Y}_n)$$

$$\mathbf{D} = [\det Y_n^0 - S_n, \det Y_n^0 + S_n] = [-0.118144, -0.106726]$$

Очевидно, $0 \notin \mathbf{D}$, что свидетельствует об управляемости интервальной системы (11).

Для сравнения найдём $\det(\mathbf{Y}_n)$, используя интервальное расширение аналитической формулы $\det \mathbf{C}$

$$\det(\mathbf{Y}_n) = -b_{31} a_{13} b_{22} = [-0.11529734, -0.10958084]$$

Очевидно, что

$$\det(\mathbf{Y}_n) = [-0.11529734, -0.10958084] \subset [-0.118144, -0.106726] = \mathbf{D}$$

Постановка задачи 2. Для интервальной системы (11) необходимо синтезировать ПИ-регулятор (8), который гарантирует заданную статическую точность регулируемой переменной $y \rightarrow 0$, $t \rightarrow \infty$.

Для решения поставленной задачи будем применять следующий алгоритм.

1. Управляемость разомкнутой интервальной системы (11) показана при решении задачи 4.1.

2. Рассмотрим блочную матрицу $\mathbf{B} : \mathbf{A}_{n-l}$, которая для данного объекта примет вид

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & a_{12} & a_{13} \\ 0 & \mathbf{b}_{22} & \mathbf{a}_{22} & 0 \\ b_{31} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Из столбцов матрицы (12) можно построить невырожденные матрицы третьего порядка

$$\mathbf{Q}_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & a_{12} \\ 0 & \mathbf{b}_{22} & \mathbf{a}_{22} \\ b_{31} & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{Q}_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & a_{13} \\ 0 & \mathbf{b}_{22} & 0 \\ b_{31} & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

определители которых не включают в себя нуль: $\det(\mathbf{Q}_1) = -b_{31} a_{12} \mathbf{b}_{22} \neq 0$, $\det \mathbf{Q} = -b_{31} a_{13} \mathbf{b}_{22} \neq 0$. Следовательно, в интервальной системе (11) можно использовать пропорционально-интегральную обратную связь.

3. Сформируем расширенную систему

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{e} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{a}_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdot & 0 \\ \mathbf{a}_{21} & \mathbf{a}_{22} & 0 & \cdot & 0 \\ a_{31} & 0 & 0 & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & 0 & 0 & \cdot & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ e \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{b}_{22} \\ b_{31} & 0 \\ \cdot & \cdot \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}, \quad (13)$$

где $\varepsilon = x_1 = \Delta T_2$ - рассогласование (ошибка) между текущим и номинальным значениями натяжения.

4. Зададим асимптотически устойчивой интервальный полином $\mathbf{D}_4 = S^4 + \mathbf{d}_3 S^3 + \mathbf{d}_2 S^2 + \mathbf{d}_1 S + \mathbf{d}_0$ с коэффициентами

$$\mathbf{d}_0 = [0.01, 0.1], \quad \mathbf{d}_1 = [8.025, 19.282], \\ \mathbf{d}_2 = [426.27, 426.29], \quad \mathbf{d}_3 = [1.3465, 3.5421]. \quad (13)$$

В результате применения алгоритма были получены следующие коэффициенты передачи регулятора (8):

$$\bar{K}_{11} = 0.00002640176, \quad \bar{K}_{12} = 16.9054, \quad \bar{K}_{11} = 0.00002640176, \\ \bar{K}_{14} = -0.0005412777, \quad \bar{K}_{21} = 0.00001320088, \quad \bar{K}_{22} = 8.452699, \\ \bar{K}_{23} = -3.733249, \quad \bar{K}_{24} = 0.0002706388. \quad (14)$$

Условия разрешимости для вычисленных параметров (14) не выполняются, поскольку среди коэффициентов характеристического полинома матрицы динамики расширенной замкнутой системы

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_3 &= [2.34494, 3.5392], \quad \mathbf{v}_2 = 426.27, \\ \mathbf{v}_1 &= [17.913, 19.378], \quad \mathbf{v}_0 = [0.019815, 0.021197] \end{aligned} \quad (15)$$

интервалы $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2$ не принадлежат коэффициентам $\mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2$ (15) заданного асимптотически устойчивого интервального полинома $\mathbf{D}_4(S)$. Для проверки устойчивости интервальной замкнутой системы воспользуемся методом [10]. Согласно последнему, интервальный характеристический полином с коэффициентами (15) асимптотически устойчив, если таковыми являются следующие многочлены

$$\begin{aligned} p_1(S) &= S^4 + 2.3494S^3 + 426.27S^2 + 19.378S + 0.021197, \\ p_2(S) &= S^4 + 3.5392S^3 + 426.27S^2 + 17.913S + 0.021197. \end{aligned}$$

Для коэффициентов $\beta_i, i = \overline{0,3}$ полином $p_1(S), p_2(S)$ запишем достаточные условия устойчивости

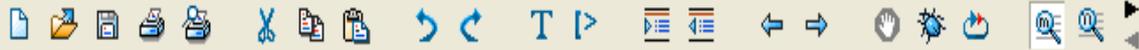
$$\begin{aligned} 2.3494 \cdot 426.27 \cdot 19.378 - (2.3494)^2 \cdot 0.021197 - (19.378)^2 &= 19031.031 > 0, \\ 3.5392 \cdot 426.27 \cdot 17.913 - (3.5392)^2 \cdot 0.0221197 - (17.913)^2 &= 26703.39 > 0. \end{aligned}$$

Выполнение неравенств свидетельствует об асимптотической устойчивости рассматриваемых многочленов, следовательно, интервальный характеристический полином с коэффициентами (15) также обладает указанным свойством. Таким образом, полученный регулятор обеспечивает стабилизацию расширенной интервальной замкнутой системы. Последнее утверждение позволяет сделать вывод о том, что ПИ-регулятор с коэффициентами передачи (14), включенный в контур управления линеаризованного объекта (1), (2), гарантирует нулевую статическую ошибку регулируемому натяжению $\Delta T_2(t)$ при любых допустимых значениях неопределенных параметров, то есть обеспечивает высокое качество резания жгута волокна для всех моментов времени $t \in [0, T^-]$.

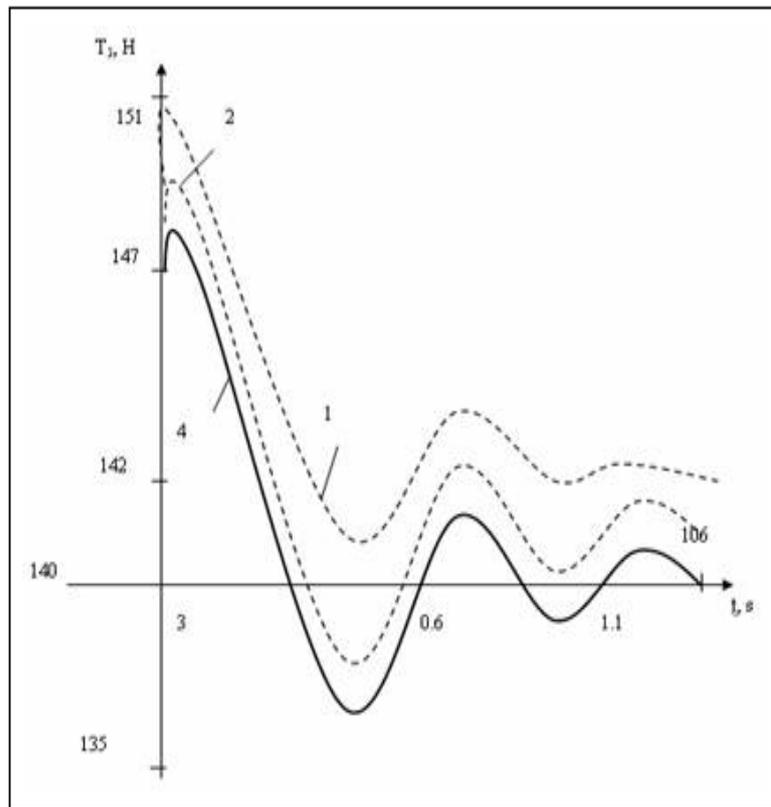
1.4. Этапы получения переходных процессов

Сравнение качественных показателей полученных схем управления технологическим процессом осуществлялось на основе переходных характеристик, построенных для полной нелинейной модели [24]. Переходные процессы в разомкнутой и замкнутой нелинейной системе моделировались при условии, что в начальный момент времени $t=0$ переменные $T_2(t)$, $\vartheta_2(t)$ имели отклонения от номинальных значений $\Delta T^H = T_n, \Delta \vartheta_2^H = 0.01M/C$. Анализ переходных характеристик выполнялся по перерегулированию σ , статический ошибке в установившемся состоянии δ и времени регулирования t_p по натяжению $T_2(t)$. (табл.1.1.). Поскольку, согласно требованиям технологии, отклонение текущего натяжения $T_2(t)$ не должно 5% от номинального значения T^H , то указанное ограничение следует учитывать при анализе переходного процесса по переменной $T_2(t)$ в рассматриваемых системах управления.

На рис.1.3. переходные характеристики натяжений $T_2(t), T_3(t)$ и скоростей $\vartheta_1(t), \vartheta_2(t)$ разомкнутого объекта (кривые 1) сравниваются с графиками переходных функций соответствующих переменных систем управления с П и ПИ-регуляторами (кривые 2,4), которые обеспечивают поддержание номинальных значений $T_2^H, T_3^H, T^H, \vartheta_1^H, \vartheta_2^H$ (прямые 3) заданного режима работы.



- Выражения
- Символы
- Матрицы
- Векторы



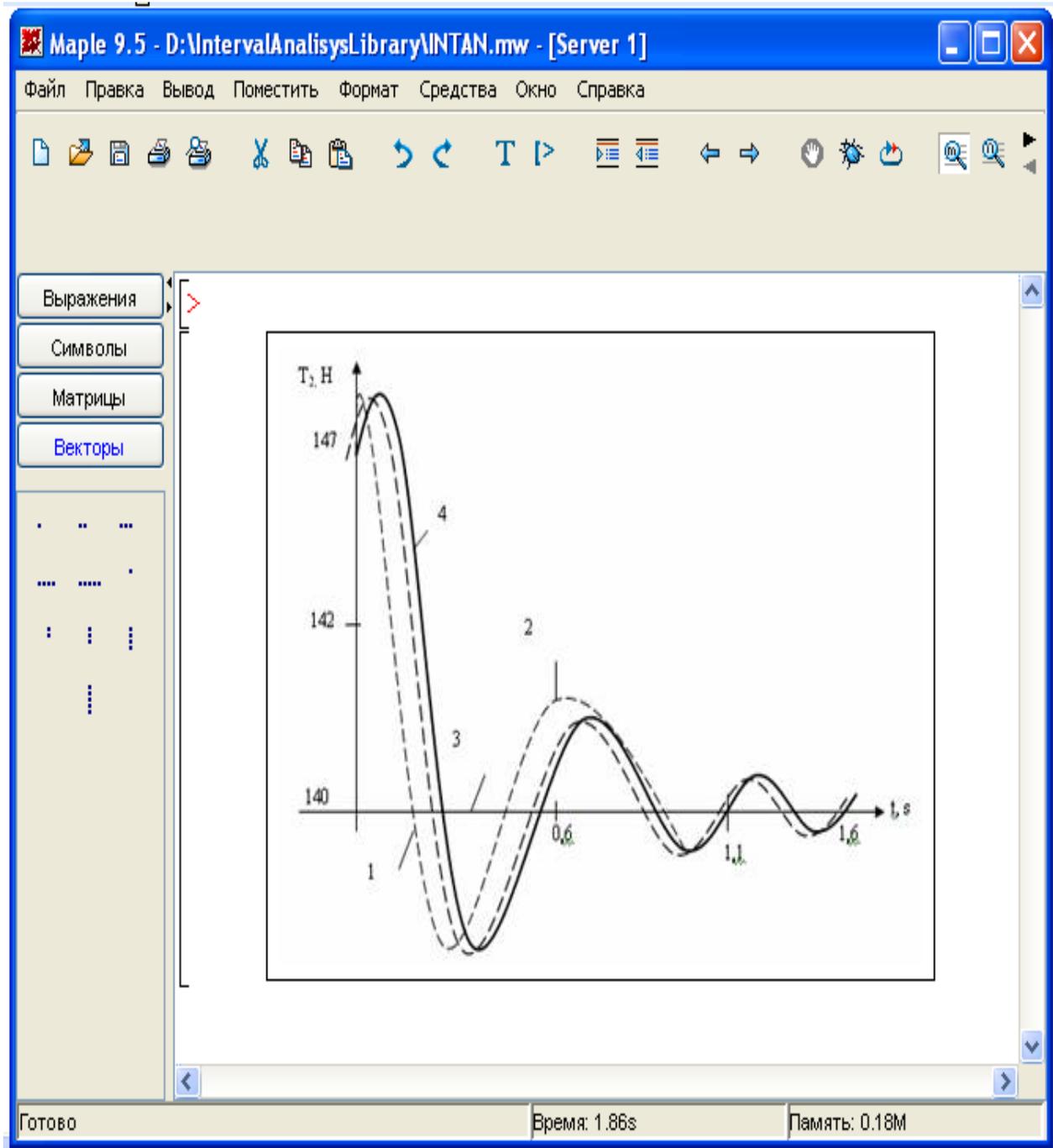
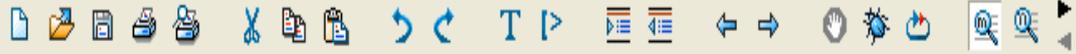
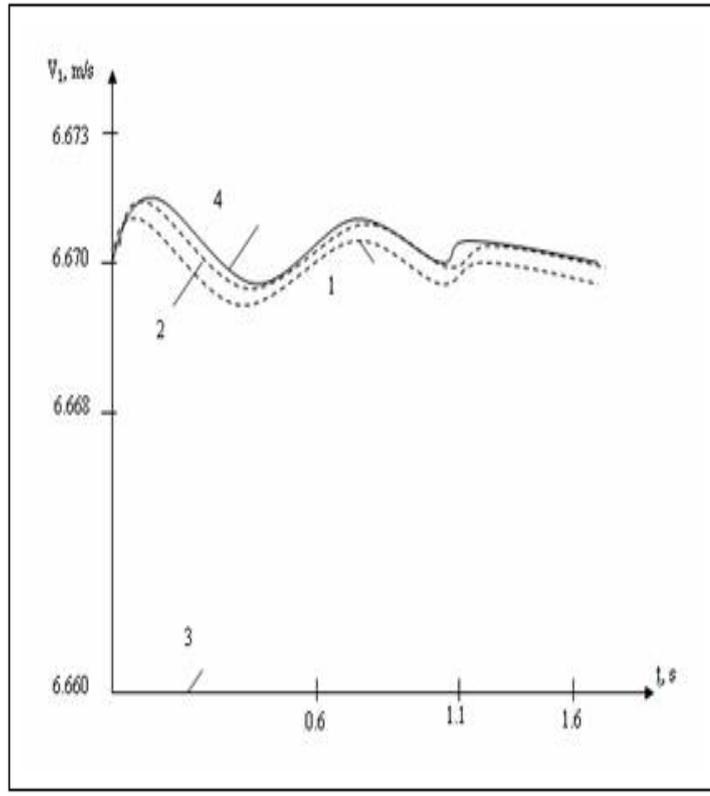


Рис. 1.3.а. Переходные процессы скоростей $T_2(t), T_3(t)$



- Выражения
- Символы
- Матрицы
- Векторы

• • •
••• ••• •
: : :
:



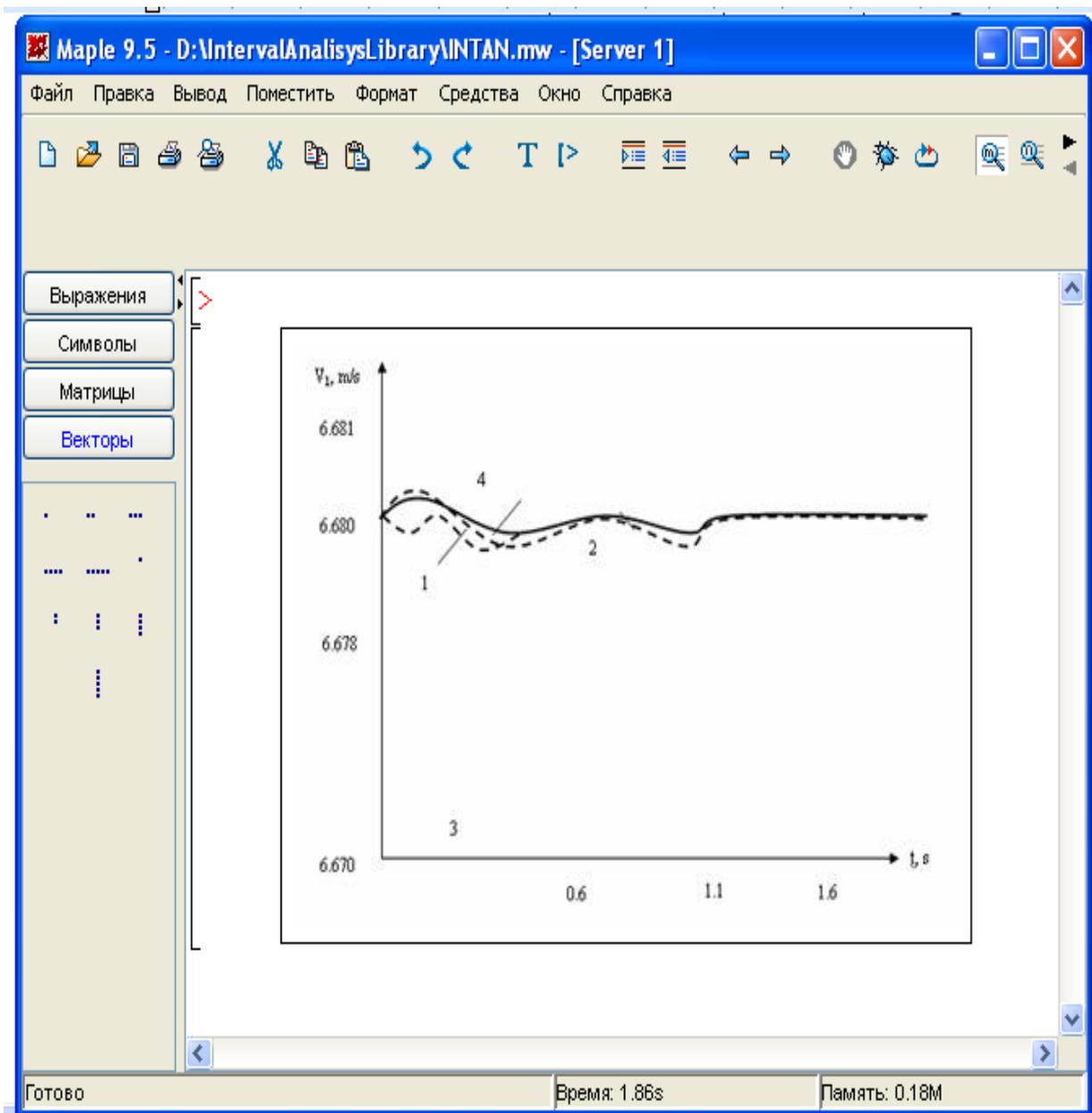


Рис. 1.3.б. Переходные процессы скоростей $\mathcal{G}_1(t), \mathcal{G}_2(t)$

| Тип управления | t_p, C | $T_2(t), \%$ | | $T_3(t), \%$ | | $\nu_1(t), \%$ | | $\nu_2(t), \%$ | |
|--|----------|--------------|----------|--------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|
| | | σ | δ | σ | δ | σ | δ | σ | δ |
| Управление по разомкнутому контуру | 1.6 | 5.0 | 0.09 | 7.79 | 2.4 | 0.17 | 0.15 | 0.16 | 0.15 |
| Управление (5.9) с пропорциональной обратной связью | 1.44 | 5.0 | 0.06 | 5.94 | 0.94 | 0.18 | 0.15 | 0.16 | 0.16 |
| Управление (5.10) с пропорциональной обратной связью | 1.44 | 5.0 | 0.0 | 5.03 | 0.11 | 0.18 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |

Полученные результаты позволяют дать проектировщикам резательного оборудования следующие рекомендации:

Из вычисленных интервальными методами регуляторов наилучшим в смысле удовлетворения технологических требований к качеству резания жгута волокна «нитрон» можно считать ПИ-регулятор с коэффициентами передачи (14). Его достоинства состоят в обеспечении астатического регулирования натяжения $T_2(t)$ и в повышении статической точности переменной $T_3(t)$ в установившемся состоянии, причём в процессе регулирования не происходит нарушения технологических допусков на разброс текущих значений исследуемых параметров.

Таким образом, разработана система управления технологическим процессом резания сухого жгута из волокна «Нитрон» на короткие отрезки заданной длины в резательной машине типа МРБ-100. Рассчитаны коэффициенты передачи динамического регулятора, гарантирующего астатическое регулирование натяжения сухого жгута перед ножевым валом при любых допустимых изменениях неопределённых параметров.

ГЛАВА 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современной теории синтеза систем автоматического управления (САУ) большое внимание уделяется проблеме построения регуляторов с постоянными настройками для динамических систем в условиях неопределённости, в частности, синтез САУ многорежимных, грубых (нечувствительных к изменениям параметров) и т.д.

Данная выпускная работа носит научно-теоретический характер, и она состоит из двух глав.

В первой главе выпускной работы разработана интервальная система управления технологическим процессом резания сухого жгута из волокна «Нитрон» на короткие отрезки заданной длины в резательной машине типа МРБ-100. Рассчитаны коэффициенты передачи динамического регулятора, гарантирующего астатическое регулирование натяжения сухого жгута перед ножевым валом при любых допустимых изменениях неопределённых параметров.

Целью **второй главы** является проектирование системы автоматического регулирования (САР) температуры в зоне резания. Данная САР должна поддерживать температуру в области резания на заданном уровне с определенной точностью и отвечать требованиям точности и быстродействия. Для анализа и синтеза САР в данной работе применен метод логарифмических частотных характеристик (ЛЧХ). Данный метод является наиболее удобным благодаря простоте, наглядности и точности.

Основные теоретические и практические результаты работы в рамках выпускной работы можно использовать в учебном процессе НГТИ в дисциплинах «Моделирование систем управления», «Автоматизация технологических процессов и производств».

ЛИТЕРАТУРА

2. Куржанский А.Б. Управление и наблюдение в условиях неопределённости, М.: Наука.- 1997. -392с.

3. Многорежимные и нестационарные системы автоматического управления /Б.Н.Петров, А.Д. Александров, В.Б. Андреев и др. М.: Машиностроение.- 1998.- 239с.

4. Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М. Чувствительность систем управления, М.: Наука, 1981. -464с

5.Саморуков А.К., Хлебалин Н.А., Захаров А.В. Синтез регулятора стабилизации бокового движения вертолётного буксировочного комплекса с учётом неопределённости параметров его математической модели. - Аналитические методы синтеза регуляторов. Межвуз. научн. сб., Саратов, СПИ, 1987,с. 109-122.

6.Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа.- Новосибирск: Наука.- 1986.-221 с.

7.Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления, М.: Наука.- 1998. -256с.

8. Дьяконов В., Круглов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 448с.

9.Интернет ресурсы:

<http://www.twirpx.com/downloads.special.atpp.html>.

School.tusur.ru,

Books.kulichki.ru,

Bercov.h1.ru

www.ict.nsc.ru/interval

ito.bitpro.ru