

На правах рукописи

УДК 62-83:621

БУШЕР Виктор Владимирович

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ
МЕХАНИЗМОВ С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Специальность 05.09.03 - Электрические комплексы и
системы, включая их управление
и регулирование

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре "Электропривод и автоматизация
промышленных установок" Одесского политехнического университета.

Научный руководитель -

доктор технических наук,

профессор

ГЕРАСИМЯК Р.П.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

профессор

КЛЕПИКОВ В.Б.

кандидат технических наук

ШПИГЛЕР Л.А.

Ведущая организация - Украинский государственный институт
краностроения ПО "Краян".

Защита состоится "16" декабря 1993 года в 15 час.

в ауд.115у на заседании специализированного совета К-068.19.04 по
присуждению учёных степеней кандидата технических наук Одесского
политехнического университета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОПУ.

Отзыв, заверенный печатью, в одном экземпляре просим
направить в адрес ОПУ: 270044, г.Одесса, пр.Шевченко, 1, ОПУ.

Автореферат разослан "16" ноября 1993 года.

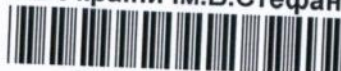
Учёный секретарь

специализированного совета,

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

В.И.КАПИНОС

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00802637 (Q)

Актуальность работы. Подъемно-транспортные машины (ПТМ) являются важнейшей составной частью многих технологических процессов. Долговечность механической части электромеханических систем (ЭМС) определяется динамическими нагрузками, возникающими в передачах в переходных режимах при выборе зазоров, а их производительность и удобство эксплуатации во многом зависят от колебаний подвешенного на гибкой нити груза. Несмотря на сложность и многообразие задач, которые должны решать системы управления приводами различных механизмов ПТМ, для повышения надёжности в них следует применять наиболее простые системы электропривода - тиристорный преобразователь напряжения - асинхронный двигатель с фазным ротором (ТПН-АД). Поэтому разработка несложных методов демпфирования колебаний подвешенного груза и снижения ударных нагрузок в передачах, реализуемых такими приводами и обеспечивающих к тому же высокое быстродействие, может внести существенный вклад в повышение эффективности и сроков службы подъемно-транспортных механизмов. Для решения комплекса задач целесообразна разработка цифровых систем управления, формирующих специальные тахограммы для демпфирования колебаний груза и ударных нагрузок в кинематических звеньях.

В связи с этим настоящая диссертационная работа, посвященная вопросам оптимизации управления электроприводами технологических механизмов ПТМ и синтезу микропроцессорных систем управления ТПН-АД, является актуальной.

Цель работы и задачи исследования. Целью диссертационной работы являются анализ многодвигательных электромеханических систем механизмов ПТМ и разработка микропроцессорной системы управления асинхронным электроприводом, обеспечивающей технологические требования работы этих механизмов с максимальной производительностью и наименьшей нагрузкой элементов механической части ЭМС. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать многодвигательные ЭМС и разработать способы управления электроприводом, обеспечивающие ограничение ударных нагрузок в переходных режимах на заданном уровне независимо от величин зазоров в передачах;

- разработать методы устранения колебаний подвешенного груза в механизмах линейного и вращательного движения;

- исследовать цифровую систему управления асинхронным электроприводом с тиристорным преобразователем напряжения и синтезировать цифровые регуляторы скорости, обеспечивающие оптимальные динамические и статические показатели САУ;

- определить функциональные возможности, разработать алгоритмы управления и сформулировать основные требования к аппаратным средствам микропроцессорных систем управления для подъёмно-транспортных машин.

Методы исследования. Исследования выполнены с применением методов теоретической механики и общей теории электропривода, теории автоматического управления непрерывных, дискретных и нелинейных систем, теории оптимального управления, методов математического моделирования, современных методов постановки экспериментов и обработки результатов.

Научная новизна. В диссертации разработана методика синтеза пусковых характеристик многодвигательных электроприводов;

- разработаны оригинальные методы демпфирования колебаний подвешенного на гибкой нити груза;

- предложены алгоритмы функционирования микропроцессорных систем управления и разработана методика синтеза цифровых регуляторов;

- разработано математическое описание для моделирования электромеханических систем с произвольной конфигурацией механической части и структуры электропривода.

Практическая ценность. Рассчитанные номограммы позволяют проектантам выбрать параметры пусковых характеристик многодвигательных электроприводов ПТМ, при которых ограничиваются динамические нагрузки в процессе выбора зазоров заданным значением, что увеличивает срок службы передач.

Реализация методов демпфирования колебаний подвешенного на гибкой нити груза обеспечивает повышение производительности и улучшение условий труда.

Полученные соотношения позволяют выбрать оптимальную структуру и параметры регуляторов скорости в ТПН-АД, в том числе и с аналоговыми системами управления.

Разработанное программное обеспечение может использоваться исследователями и конструкторами без специальной подготовки по программированию для моделирования сложных ЭМС.

Реализация результатов. Предложенные в диссертационной работе научные и технические решения использованы при разработке

унифицированного асинхронного электропривода с ТПН и при исследовании и модернизации электроприводов роторных экскаваторов и конвейерных перегружателей в ПО "Азовмаш" (г. Мариуполь), при разработке микропроцессорного пульта управления самоходным дизель-электрическим краном КС-5363 в ПО "Краян" (г. Одесса), при создании в НПО "Электротяжмаш" (г. Харьков) асинхронных электроприводов для кранов, выпускаемых предприятиями Украины.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях "Электроприводы переменного тока с полупроводниковыми преобразователями" (Свердловск, 1989), "Современные проблемы электромеханики" (Москва, 1989), "Автоматизированный электропривод технологических процессов" (София, Болгария, 1990), "Проблемы внедрения и технической эксплуатации тиристорных устройств в судовых и береговых установках" (Одесса, 1993), "Проблемы подъемно-транспортной техники" (Харьков, 1993), на 15-м научном симпозиуме студентов и молодых ученых (Зелена Гура, Польша, 1993).

Публикации. По материалам выполненных исследований опубликовано 9 печатных работ и получено 2 авторских свидетельства.

Структура и объём диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, содержащих 103 стр. машинописного текста и 51 рисунок и 7 таблиц на 55 стр. и списка литературы из 81 наименования на 8 стр.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и задачи исследования.

В первой главе рассмотрены исследуемые типы механизмов и обоснованы их расчётные схемы, а также проанализированы различные варианты управляемых асинхронных электроприводов и систем управления тиристорами.

Во второй главе исследованы процессы, возникающие в кинематических передачах ЭМС с п-двигательным электроприводом в динамических режимах. Показано, что если электропривод формирует механические характеристики с регулируемой жёсткостью β , то ЭМС описывается передаточной функцией:

$$H(p) = \frac{M_{yi}(p)}{\omega_o(p)} = \frac{J \cdot p}{\beta \cdot C \cdot p^3 + \frac{J}{C} \cdot p^2 + \frac{J_d + J}{\beta} \cdot p + 1}$$

где $J = J_M / m$, J_M и J_d - моменты инерции механизма и двигателей, m - количество одновременно выбранных зазоров ($m \leq n$), C - коэффициент жёсткости передач. Представив знаменатель в виде

$$Q(p) = \left(\frac{k}{\Omega} \cdot p + 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{\Omega^2} \cdot p^2 + \frac{2 \cdot \xi}{\Omega} \cdot p + 1 \right),$$

где Ω , ξ - частота и коэффициент демпфирования колебаний, k - коэффициент пропорциональности между постоянными времени инерционной и колебательной составляющих, можно найти связь между известными параметрами J_d , J , β , C и величинами Ω , ξ , k .

Анализ показывает, что коэффициент демпфирования ξ зависит от жёсткости механической характеристики β , причём существует такое значение

$$\beta_{opt} = J_d \cdot \sqrt{\frac{C}{J}} \cdot \gamma^{0.75}, \tag{1}$$

при котором коэффициент демпфирования становится максимальным и равным величине

$$\xi_{max} = 0.5 \cdot (\sqrt{\gamma} - 1), \text{ где } \gamma = \frac{J_d + J}{J_d}. \tag{2}$$

Моделирование переходных процессов при различных параметрах ЭМС показало, что отношение максимального упругого момента к пусковому не зависит от абсолютных значений C , J , J_d , а определяется только величиной γ и относительным значением жёсткости $\beta_* = \beta / \beta_{opt}$. Поэтому оказывается возможным использовать значение β_{opt} в качестве базового и получить зависимости $k_y = M_{ymax} / M_{п}$ от γ и β_* , по которым можно синтезировать пусковые механические характеристики электропривода, обеспечивающие ограничение ударных моментов.

В результате расчётов получены два семейства характеристик, приведенные для некоторых значений γ на рис.1:

- а) зависимости k_y от β_* при $\delta \rightarrow \infty$ (кривые 1,2);
- б) зависимости k_y от β_* при $\delta = 0$ (кривые 3,4).

Совместное использование зависимостей позволяет осуществить синтез пусковой диаграммы переходного процесса, состоящего из двух этапов:

1. Разгон двигателей по характеристике с жёсткостью β_1 до промежуточной скорости ω_1 в течение времени $t_{в.з}$, когда происходит выбор зазоров и ограничиваются ударные моменты;

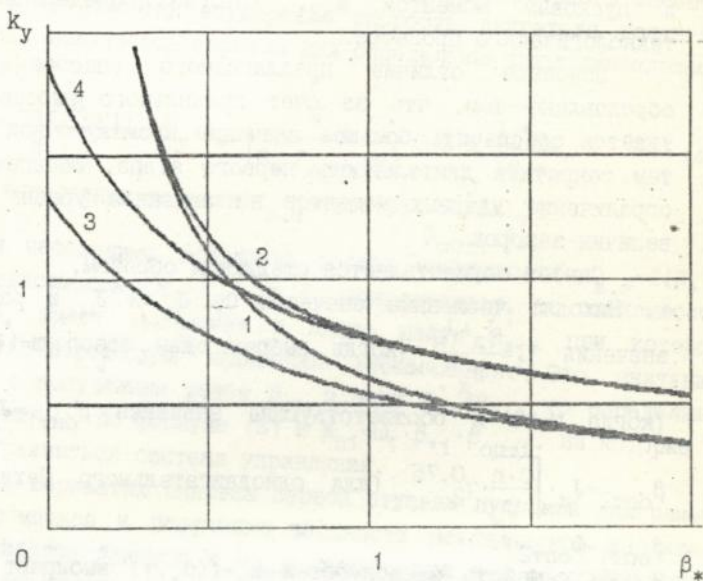


Рис.1. Зависимости k_y от β_* и соотношения масс.
 1,3 - $\gamma=3$; 2,4 - $\gamma=15$.

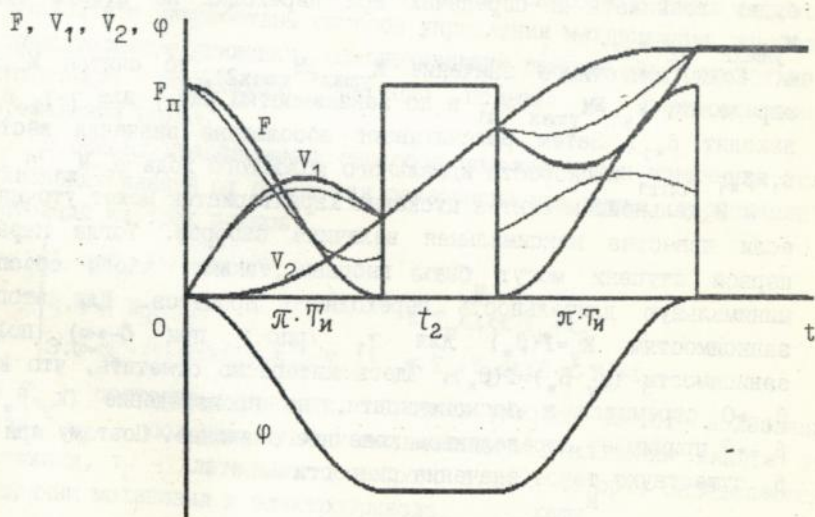


Рис.2. Демпфирование колебаний груза с постоянной и изменяющейся длиной каната.

2. Переход к заданной скорости по характеристике с жёсткостью β_2 и пусковым моментом $M_{п2}$, которые определены требованиями технологического процесса.

Основное отличие предлагаемого способа от известных обусловлено тем, что за счёт правильного выбора жёсткости β_1 удаётся обеспечить большее значение промежуточной скорости ω_1 и тем сократить длительность первого этапа, обеспечивая при этом ограничение ударных моментов на заданном уровне независимо от величин зазоров.

Синтез осуществляется следующим образом.

1. Находят численные значения C , J_d и J_m и рассчитывают два значения $\gamma_1 = \frac{J_d + J_m}{J_d}$ (когда выбран один зазор $m=1$) и $\gamma_2 = \frac{J_d + J_m/n}{J_d}$

(когда $m=n$) и соответствующие значения $\beta_{опт1} = J_d \cdot \sqrt{\frac{C}{J_m}} \cdot \gamma_1^{0.75}$ и $\beta_{опт2} = J_d \cdot \sqrt{\frac{C \cdot n}{J_m}} \cdot \gamma_2^{0.75}$ (для однодвигательного механизма $\gamma_1 = \gamma_2$ и $\beta_{опт1} = \beta_{опт2}$).

2. Из семейств зависимостей $k_y = f(\beta_*, \gamma)$ выбирают характеристики при $\delta \rightarrow \infty$ для $\gamma = \gamma_1$ и при $\delta = 0$ для $\gamma = \gamma_2$.

3. Используя известные параметры второй ступени β_2 и $M_{п2}$, определяют $\beta_{*2} = \beta_2 / \beta_{опт2}$, по зависимости рис.1 для γ_2 и $\delta = 0$ находят k_{y2} и рассчитывают максимальный упругий момент, который будет возникать в передачах при переходах на вторую ступень $M_{уmax2} = k_{y2} \cdot M_{п2}$.

4. Если допустимое значение $M_{уmax} \geq M_{уmax2}$, то считая $M_{п1} = M_{п2}$, определяют $k_{y1} = M_{уmax} / M_{п1}$ и по зависимостям рис.1 для $\gamma = \gamma_1$ и $\delta \rightarrow \infty$ находят β_{*1} . Затем рассчитывают абсолютные значения жёсткости $\beta_1 = \beta_{*1} \cdot \beta_{опт1}$ и скорости идеального холостого хода $\omega_1 = M_{п1} / \beta_1$.

В дальнейшем синтез пусковых характеристик может уточняться, если известна максимальная величина зазоров. Тогда параметры первой ступени могут быть выбраны такими, чтобы обеспечить минимальную длительность переходного процесса. Для этого по зависимостям $k_y = f(\beta_*)$ для γ_1 (рис.1 при $\delta \rightarrow \infty$) получают зависимости $(k_y \cdot \beta_*) = f(\beta_*)$. Здесь интересно отметить, что k_y при $\beta_* \rightarrow 0$ стремится к бесконечности, но произведение $(k_y \cdot \beta_*)$ при $\beta_* \rightarrow 0$ принимает определённое конечное значение. Поэтому при любой β_* существуют такое значение скорости

$$\omega_1 = \frac{M_{уmax}}{(k_y \cdot \beta_*) \big|_{\beta_* \cdot \beta_{опт1}}}, \quad (3)$$

при котором обеспечивается неизменное значение ударного момента. Считая, что к моменту соударения скорость двигателя достигает значения ω_1 , получается формула для определения продолжительности выбора зазора:

$$t_{в.з} = \frac{\delta_{\max} \cdot \beta_{\text{опт1}} \cdot (k_y \cdot \beta_*)}{M_{y\max}} \left| \beta_* + \frac{J_{\text{д}}}{\beta_{\text{опт1}} \cdot \beta_*} + 0.5 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{J_{\text{м}}}{C \cdot \gamma_1}} \right. \quad (4)$$

(при выполнении условия $t_{в.з} > (2 \dots 3) \cdot \frac{J_{\text{д}}}{\beta_{\text{опт1}} \cdot \beta_*}$)

по которой необходимо выполнить расчёт зависимости $t_{в.з} = f(\beta_*)$. Так как зависимость $(k_y \cdot \beta_*)$ от β_* возрастает, то зависимость $t_{в.з}$ от β_* имеет экстремум и можно найти β_{*1} , при которой длительность переходных процессов минимальная. Это значение сравнивают с полученным ранее β_{*1} и если $\beta_{*1}' < \beta_{*1}$, то определяют новые значения ω_1 по формуле (3) и $M_{\text{п1}} = \omega_1 \cdot \beta_{*1}' \cdot \beta_{\text{опт1}}$, на которые и должна настраиваться система управления.

Во всех вариантах синтеза первой ступени пусковой диаграммы следует стремиться к получению жёсткости механической характеристики, наиболее близкой к $\beta_{\text{опт}}$: именно при ней обеспечивается наиболее эффективное демпфирование колебаний, что снижает усталостное разрушение металла и повышает срок службы передач.

В третьей главе доказана возможность демпфирования колебаний подвешенного на гибкой нити груза при использовании единственного датчика длины каната за счёт управления скоростью точки подвеса. В результате разработаны способы управления механизмами линейного и вращательного движения, обеспечивающие высокое быстродействие и допускающие совмещение операций подъёма и горизонтального перемещения груза.

В основу предлагаемых способов положен закон изменения угла отклонения каната от положения равновесия при пуске (торможении), состоящий из трёх этапов:

$$\begin{cases} 1. \varphi = \varphi_m \cdot (1 - \cos(t/T_{\text{и}})) & t < \pi \cdot T_{\text{и}} \\ 2. \varphi = 2 \cdot \varphi_m & \pi \cdot T_{\text{и}} \leq t < \pi \cdot T_{\text{и}} + t_2 \\ 3. \varphi = \varphi_m \cdot (1 - \cos((t - t_2)/T_{\text{и}})) & \pi \cdot T_{\text{и}} + t_2 \leq t < 2 \cdot \pi \cdot T_{\text{и}} + t_2 \end{cases}$$

где $T_{\text{и}}$ - постоянная времени, обратная угловой частоте колебаний груза, φ_m - половина угла максимального отклонения каната от вертикали, t_2 - длительность второго этапа, которые определяются по данным механизма и электропривода.

Для обеспечения такого изменения угла φ скорость точки подвеса на каждом из трёх интервалов должна изменяться от

начального $V_{\text{нач}}$ до конечного $V_{\text{кон}}$ значения по закону /8/:

$$\begin{cases} 1. V_1 = V_{\text{нач}} + a \cdot t - \left(a \cdot T_{\text{и}} - \frac{a \cdot L}{g \cdot T_{\text{и}}} \right) \cdot \sin(t/T_{\text{и}}) \\ 2. V_1 = V_{\text{нач}} - a \cdot \pi \cdot T_{\text{и}} + 2 \cdot a \cdot t \\ 3. V_1 = V_{\text{нач}} + a \cdot (t + t_2) - \left(a \cdot T_{\text{и}} - \frac{a \cdot L}{g \cdot T_{\text{и}}} \right) \cdot \sin\left(\frac{t - t_2}{T_{\text{и}}}\right) \end{cases} \quad (5)$$

где $a = \frac{F_{\text{п}}}{2 \cdot (m_1 + m_2) \cdot g}$ - линейная составляющая ускорения на 1-м и

3-м интервалах, $t_2 = \frac{V_{\text{кон}} - V_{\text{нач}}}{2 \cdot a} - \pi \cdot T_{\text{и}}$ - длительность второго интервала, $F_{\text{п}}$ - максимальное движущее усилие, развиваемое приводом.

Для обеспечения максимального быстродействия постоянная времени $T_{\text{и}}$ рассчитывается по формуле

$$T_{\text{и}} = \sqrt{\frac{L \cdot m_1}{2 \cdot g \cdot (m_1 + m_2)}} \quad (6)$$

Переходные процессы в механизме для этого случая показаны на рис.2. Общая длительность переходного процесса составляет

$$t_{\text{п}} = \begin{cases} t_0 + \pi \cdot T_{\text{и}} & \text{при } t_0 > \pi \cdot T_{\text{и}} \\ 2 \cdot \pi \cdot T_{\text{и}} & \text{при } t_0 \leq \pi \cdot T_{\text{и}} \end{cases} \quad (7)$$

где $t_0 = \frac{(V_{\text{кон}} - V_{\text{нач}}) \cdot (m_1 + m_2)}{F_{\text{п}}}$. Сопоставление разработанного способа

с оптимальным по принципу максимума Понтрягина показывает, что быстродействие нового метода при длине каната до 35-40 м ниже лишь на 3...5%, при большей длине - на 5...15%. Однако следует учесть, что за счёт управления скоростью механизма нет необходимости точно измерять массы m_1 и m_2 и при определении величин a и $T_{\text{и}}$ можно использовать их расчётные (паспортные) значения.

Основным преимуществом разработанного метода является возможность совмещения операций горизонтального перемещения и подъёма или спуска груза. Допустимость изменения длины оказалась результатом того, что амплитуда гармонической составляющей в (5) зависит от текущего значения длины каната. Характер переходного процесса при подъёме груза со скоростью 1 м/с показан на рис.2 тонкими линиями. Очевидно, что остаточные колебания отсутствуют.

Частным случаем предложенного способа управления является формирование переходного процесса на тех же трёх интервалах, но при $T_{\text{и}} = \sqrt{\frac{L}{g}}$ /5/. В этом случае скорость тележки V_1 изменяется на всех интервалах линейно (рис.3), что позволяет реализовать такой

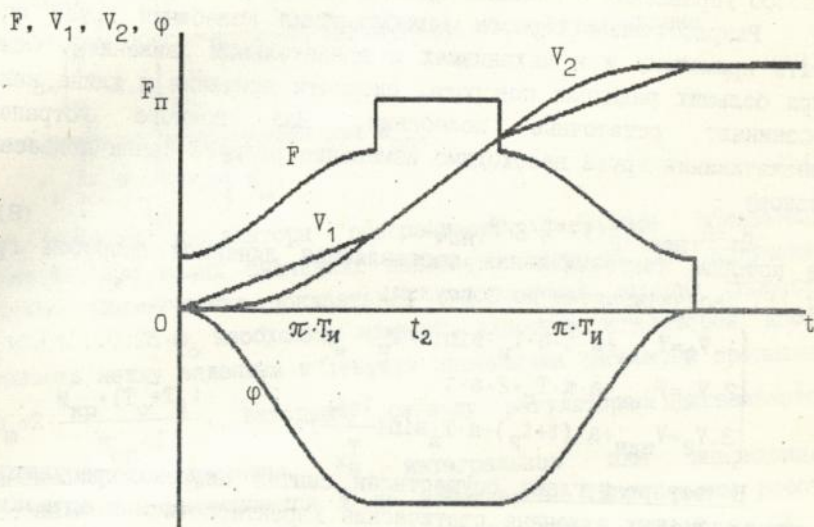


Рис.3. Демпфирование колебаний при линейном изменении скорости точки подвеса.

Линейный регулятор

Нелинейный регулятор

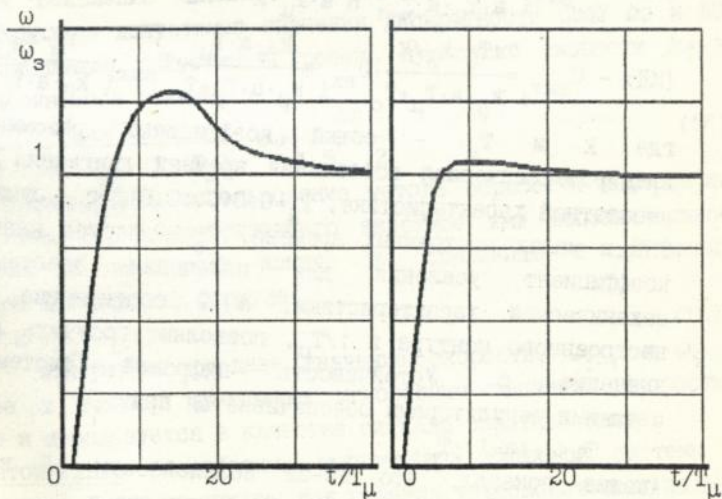


Рис.4. Переходные процессы пуска при $\omega_3 = 0.3 \cdot \omega_0$.

способ управления с помощью простых технических средств.

Разработанные способы демпфирования колебаний груза могут быть применены и в механизмах с вращательным движением. Однако при больших радиусах поворота, скорости вращения и длине каната возникают остаточные колебания. Для полного устранения раскачивания груза необходимо изменение радиуса точки подвеса по закону

$$R_1 = R_{1\text{нач}} - V_2^2(t) \cdot L / g R_{1\text{нач}}, \quad (8)$$

в котором тангенциальная составляющая линейной скорости груза $V_2(t)$ рассчитывается по формулам:

$$\begin{cases} 1. V_2 = V_{\text{нач}} + a \cdot t - a \cdot T_{\text{и}} \cdot \sin(t/T_{\text{и}}) \\ 2. V_2 = V_{\text{нач}} - a \cdot \pi \cdot T_{\text{и}} + 2 \cdot a \cdot t \\ 3. V_2 = V_{\text{нач}} + a \cdot (t + t_2) - a \cdot T_{\text{и}} \cdot \sin\left(\frac{t - t_2}{T_{\text{и}}}\right). \end{cases}$$

В четвертой главе осуществлен синтез цифровых регуляторов, обеспечивающих заданные статические характеристики и оптимальные динамические показатели в асинхронном электроприводе с единственной обратной связью по скорости. Показано, что дискретные аналоги пропорционально-интегрального (ПИ) и интегро-дифференцирующего (ИД) регуляторов, выходные сигналы которых рассчитываются по формулам

$$(\text{ПИ}) - U_{\text{ВЫХ}i} = \frac{T_0}{a \cdot T_{\mu} \cdot k} \cdot \sum_{n=1}^i U_{\text{ВХ}n} + \frac{T_M}{a \cdot T_{\mu} \cdot k} \cdot U_{\text{ВХ}i}, \quad (9)$$

$$(\text{ИД}) - U_{\text{ВЫХ}i} = \frac{T_0 \cdot k_{\beta} / k}{k_{\beta} \cdot a \cdot T_{\mu} + T_0} \cdot U_{\text{ВХ}i} + \frac{k_{\beta} \cdot a \cdot T_{\mu}}{k_{\beta} \cdot a \cdot T_{\mu} + T_0} \cdot U_{\text{ВЫХ}i} + \frac{T_M \cdot k_{\beta} / k}{k_{\beta} \cdot a \cdot T_{\mu} + T_0} \cdot \Delta U_{\text{ВХ}i}, \quad (10)$$

где k и T_M - общий коэффициент разомкнутой САУ и электромеханическая постоянная времени двигателя при работе на реостатной характеристике, $T_{\mu} = 0.01 \dots 0.012$ с - сумма запаздывания ТПН и малых постоянных времени, T_0 - период квантования, k_{β} - коэффициент усиления для получения требуемой жесткости механической характеристики, a - соотношение частот среза настроенного контура и $1/T_{\mu}$, позволяют получить любое требуемое значение β . Устойчивость цифровой системы управления с такими регуляторами обеспечивается при

$$T_0 < 2 \cdot (a - 1) \cdot T_{\mu}. \quad (11)$$

Анализ показал, что из-за нелинейности АД в цифровой САУ существует оптимальное значение параметра a

$$a_{\text{опт}} \approx 0.6 + \left(\frac{T_0}{T_\mu} + 1.5 \right) \cdot \left(0.004 \cdot \frac{T_M}{T_\mu} + 1 \right), \quad (12)$$

при котором обеспечивается минимальное перерегулирование

$$\sigma \approx \left(\frac{T_0}{T_\mu} + 2.5 \right) \cdot \frac{T_\mu}{T_M}. \quad (13)$$

Время первого согласования при $a_{\text{опт}}$

$$t_1 \approx \left(1.2 \cdot \frac{T_0}{T_\mu} + 5.5 \right) \cdot T_\mu. \quad (14)$$

Линейные регуляторы обеспечивают расчётные показатели качества при малых значениях задающего сигнала. Для получения хороших динамических показателей при скачках задания скорости $\omega_3 > 0.01 \dots 0.05 \cdot \omega_0$ необходимо изменить алгоритм регуляторов: когда разность между заданным и текущим значениями скоростей превышает $\Delta\omega_m = 2 \cdot \frac{M_{\text{кр}} \cdot (T_0 + T_\mu)}{s_{\text{кр}} \cdot J}$, выходному сигналу регулятора присваивается максимальное значение, а интегральная или инерционная составляющая запоминается и не изменяется. Такой режим работы сохраняется до тех пор, пока $|\omega_3 - \omega|$ не станет меньше $\Delta\omega_m/2$, а затем регулятор начинает функционировать, как линейный. Такое изменение алгоритмов регуляторов позволяет уменьшить перерегулирование до величины, не превышающей $\Delta\omega_m/2$ и существенно повысить быстродействие, что подтверждают расчёты (рис.4) и экспериментальные исследования.

Квантование по уровню в СИФУ и датчике скорости (ДС) приводит к появлению сложного автоколебательного процесса. В работе определены допустимые значения дискретности СИФУ δa и ДС $\delta\omega$, обеспечивающие допустимый уровень пульсаций скорости $\Delta\omega$ в квазиустановившемся режиме:

$$\delta a \approx \frac{J \cdot \Delta\omega \cdot (\alpha_{\text{max}} - \alpha_{\text{min}})}{(2 \dots 3) \cdot M_{\text{кр}} \cdot (T_0 + T_\mu)}, \quad \delta\omega \approx \frac{\Delta\omega}{1.5 \dots 2}, \quad (15)$$

а также рекомендовано использование метода обработки информации от импульсных ДС, компенсирующего вносимое ими дополнительное запаздывание в замкнутый контур по сравнению с датчиками мгновенного значения по формуле:

$$\omega_i = 2 \cdot \omega_{*i} - \omega_{i-1}, \quad (16)$$

где ω_{*i} - измеренное среднее значение скорости, ω_{i-1} и ω_i - предыдущее и текущее расчётные мгновенные значения скорости. Последнее и используется в качестве сигнала обратной связи.

В пятой главе разработана архитектура цифровой системы и алгоритм управляющей программы для решения технологических задач,

сформулированных в предыдущих главах, показаны возможности решения других задач (позиционирование, ограничение тока) при неизменной аппаратной части, даны рекомендации по выбору основных функциональных элементов микропроцессорной системы управления.

Основные результаты работы:

В диссертационной работе выполнен анализ динамических режимов многодвигательных электромеханических систем подъёмно-транспортных механизмов и разработана цифровая система управления асинхронным электроприводом с тиристорным преобразователем напряжения.

Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем.

1. На основании анализа ударных нагрузок в ЭМС с регулируемой жёсткостью механических характеристик найдено такое значение жёсткости $\beta_{\text{опт}}$, при котором обеспечивается наиболее эффективное демпфирование колебаний упругого момента. Показано, что это значение является одним из базовых параметров ЭМС, а соотношение реальной жёсткости β с $\beta_{\text{опт}}$ однозначно определяет величину максимальных упругих моментов в передачах многодвигательных механизмов при выборе зазоров. В результате рассчитаны семейства универсальных характеристик, с помощью которых рекомендуется синтезировать пусковые диаграммы электропривода, обеспечивающие как ограничение ударных нагрузок на заданном уровне при любых зазорах, так и высокое быстродействие.

2. На базе разработанного математического и программного обеспечения создана система автоматизированного расчёта, благодаря которой существенно упрощается подготовка данных и расчёт динамических процессов в стационарных и нестационарных ЭМС с произвольной конфигурацией электропривода и механической части.

3. Показано, что при работе двигателя на абсолютно жёсткой механической характеристике движение подвешенного на канате груза определяется только длиной каната и законом изменения координат точки подвеса. Разработан основанный на этом способ устранения раскачивания груза с быстродействием, близким к предельно возможному, для реализации которого требуется только измерение длины каната и, кроме того, допускается совмещение операций подъёма и горизонтального перемещения груза без ухудшения качества демпфирования колебаний.

4. Разработан способ демпфирования колебаний, обладающий сравнительно невысоким быстродействием, но требующий простых

технических средств для своей реализации.

5. Исследованы процессы колебаний груза при вращательном движении и предложен закон управления скоростью и радиусом точки подвеса, обеспечивающий полное устранение раскачивания груза в механизмах поворота.

6. Разработана математическая модель электропривода ТПН-АД с цифровым управлением с учётом запаздывания тиристорного преобразователя и дискретных свойств системы управления. Рекомендовано применение цифровых аналогов пропорционально-интегрального и интегро-дифференцирующего регуляторов. Показано, что система управления с такими регуляторами позволяет получить механические характеристики с любым требуемым значением жёсткости. Разработана методика выбора их параметров, при которых обеспечиваются оптимальные динамические показатели САУ.

7. Предложены алгоритмы функционирования нелинейных ПИ- и ИД-регуляторов скорости, обеспечивающих максимальное быстродействие и минимальное перерегулирование при скачках задающего сигнала ω_3 .

8. Определены требования к основным функциональным элементам электропривода с цифровой системой управления - микропроцессору, устройствам памяти и ввода-вывода, элементам аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования.

9. Приведены и обобщены данные об аппаратных и программных средствах, с помощью которых в зависимости от характера решаемых технологических задач может быть подобран оптимальный набор технических средств для создания микропроцессорной системы управления асинхронным электроприводом.

Полученные результаты свидетельствуют о технической и экономической целесообразности применения микропроцессорных систем управления в подъёмно-транспортном оборудовании. Некоторые из них могут быть распространены и для многих других механизмов циклического действия.

Содержание диссертации отражено в следующих публикациях.

1. Бушер В.В., Герасимяк Р.П. Анализ влияния люфта в передачах на поведение многомассовых систем с асинхронным приводом// Одес. политехн. ин-т. - Одесса, 1986. - 10 с. - Деп. в УкрНИИТИ 15.09.1986, № 2160 - Ук.
2. Герасимяк Р.П., Бушер В.В. Микропроцессорное управление асинхронным электроприводом подъёмно-транспортных машин// Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Современные проблемы

- электромеханики". - Москва, 1989. - ч.2, С. 152-153.
3. Герасимьяк Р.П., Бушер В.В. Синтез цифровой системы управления асинхронным электроприводом с тиристорным преобразователем напряжения// Тезисы докл. научно-технической конференции "Электроприводы переменного тока с полупроводниковыми преобразователями". - Свердловск: УПИ, 1989. - С. 7-8.
 4. Герасимьяк Р.П., Бушер В.В. Цифровая система управления тиристорным асинхронным электроприводом. - Электротехника, 1989, № 12. - С. 11-15.
 5. А.с. № 1472417, СССР, МКИ В66С 13/06. Способ управления механизмом передвижения подвешенного на канате груза. Р.П.Герасимьяк, В.В.Бушер. 1989, Б.И. № 14.
 6. Герасимьяк Р.П., Бушер В.В. Оптимальное управление электроприводами механизмов циклического действия// Тезисы докл. научно-технической конференции "АЭПТМ-90". - Болгария, София, 1990. - с. 49.
 7. Бушер В.В. Управление электроприводом крановых механизмов горизонтального перемещения грузов// Электромашиностроение и электрооборудование: Респ. межвед. научн.-техн. сб., 1991. - Вып. 45. - С. 47-50.
 8. А.с. № 1794865, СССР, МКИ В66С 13/22, 13/06, Способ управления механизмом передвижения подвешенного на канате груза. Р.П.Герасимьяк, В.В.Бушер. 1993, Б.И. № 6.
 9. Бушер В.В., Герасимьяк Р.П., Калинин А.Г. Методика автоматизированного расчета динамических нагрузок в сложных электромеханических системах// Доклад на научно-технической конференции "Проблемы ПТМ". - Алушта, 1993, ч.3, С. 35-37.
 10. Бушер В.В., Лацк В.Н. Универсальный цифровой запоминающий осциллограф// В сб. докладов 15-го международного симпозиума. - Польша, Зелена Гура, 1993, - т.2, С. 81-88.
 11. Герасимьяк Р.П., Бушер В.В. Микропроцессорное управление механизмами горизонтального перемещения// Тезисы докл. Международной научной конференции "Проблемы внедрения и технической эксплуатации тиристорных устройств в судовых и береговых установках". - Одесса, ОГМА, 1993. - с. 18.