

ОДЕССКИМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИМ
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

АИТ АДИИ Маати

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ

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

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертация на соискание учебной степени
кандидата технических наук



Диссертация представлена в *виде рукопису*. 00339949 (.)

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

Научный руководитель --

доктор технических наук,

профессор

ГЕРАСИМЧУК Р.П.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,

профессор

ЗЕЛЕНОВ А.Б.

кандидат технических наук,

доцент

ЯКОВЛЕВ А.В.

Ведущая организация - Украинский научно-исследовательский институт станков, инструментов и приспособлений, г. Одесса.

Защита состоится "19." *июня* 1997 г. в 15⁰⁰ час.

в аудитории 115у на заседании специализированного совета Д. 05.06.03 Одесского государственного политехнического университета.

(270044, г. Одесса, просп. Шевченко, 1.)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского государственного политехнического университета.

Автореферат разослан "19." мая 1997 г.

Учебный секретарь
специализированного совета,
канд. техн. наук

О.А. Андрищенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Как следствие широкого распространения подъемных механизмов (ПМ) во многих отраслях народного хозяйства возникает задача максимального улучшения их эксплуатационных качеств, повышения надежности работы их оборудования, возможно более полного удовлетворения требований производственного процесса. Значительную, а во многих случаях и основную роль в решении этой задачи играет электропривод (ЭП) ПМ.

Исследования подъемных механизмов показывают необходимость их анализа как единых электромеханических систем (ЭМС), включающих электрическую часть (регулируемый электропривод) и механическую, которую представляют состоящей из одной-, двух или трех сосредоточенных масс, соединенных между собой упругими связями.

Долговечность механической части электромеханических систем ПМ определяется динамическими нагрузками, возникающими в её элементах в переходных режимах. Для снижения динамических нагрузок подъемных механизмов грузоподъемных машин при подъеме груза с подхватом и его торможении при подъеме или спуске необходимо соответствующим образом управлять их электроприводом. Для этих целей целесообразно использовать микропроцессорное управление и наиболее простые асинхронные системы ЭП с тиристорным преобразователем напряжения (ТПН-АД).

В связи с этим настоящая диссертационная работа, посвященная улучшению эксплуатационных показателей подъемных механизмов с асинхронным электроприводом ТПН-АД, является актуальной.

Цель работы и задачи исследования. Цель диссертационной работы - на основе требований к функционированию подъемных механизмов, анализа поведения ЭМС ПМ в режимах торможения и подъема с подхватом разработать алгоритмы микропроцессорной системы управления электроприводом с целью повышения производительности и минимизации динамических нагрузок элементов механической части ЭМС и металлоконструкц.и. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать и сопоставить системы асинхронного ЭП ПМ по техническим и технико-экономическим показателям, выбрать по этим критериям наиболее подходящий ЭП для таких механизмов;

- провести анализ тормозных режимов двух- и трехмассовой ЭМС ПМ при механическом и электрическом торможении, сравнить эти виды

торможения по динамическим показателям и по способам реализации, дать рекомендации по применению того или иного вида торможения;

- провести анализ двух- и трехмассовой ЭМС ПМ при подъеме с подхватом груза, оценить влияние параметров ЭП и механической части на поведение ЭМС;

- разработать алгоритм функционирования цифровых систем управления асинхронным ЭП ПМ, реализующий определенный закон изменения приводного усилия (момента), удовлетворяющего требованиям технологии и одновременно ограничивающего динамические нагрузки.

Методы исследования. Исследования выполнены с применением основополагающих методов теории электропривода, теории автоматического управления, методов математического моделирования нелинейных систем с применением персональных ЭВМ.

Научная новизна. При анализе энергетики асинхронного электропривода подъемных механизмов доказано, что пренебрежение динамическими участками цикла их работы не оказывает существенного влияния на энергетические показатели;

- показано, что ПМ можно классифицировать в зависимости от соотношения инерционных масс электропривода и груза, разделив их на две группы, причем в зависимости от группы рекомендуется различный способ управления;

- рекомендован способ оптимизации управления торможением для минимизации пиковых нагрузок воздействием на время срабатывания механического тормоза или время задержки реверсивного контактора при электрическом торможении;

- доказано, что учет податливости металлоконструкции при расчете ЭМС ПМ приводит к снижению динамических нагрузок на 10-50 %;

- разработаны алгоритмы микропроцессорного управления подъемными механизмами.

Практическая ценность. Разработанная программа управления, приводящая к снижению нагрузок, позволяет уменьшить металлоемкость механической части;

- определены требования к аппаратным средствам микропроцессорной системы управления - объему памяти, быстродействию.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научной - технической конференции с международным участием "Проблемы

автоматизированного электропривода" (Крым, 1996); на научно-технической конференции "Электромеханика. Теория, практика" (Львов, 1996); на семинаре научного совета Национальной Академии наук Украины "Проблемы динамики автоматизированных электро-механических систем переменного тока" (Одесса, 1997).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работ.

Структура и объём диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержащих 51 рисунок и 11 таблиц на 48 страницах, списка литературы из 82 наименований и приложений на 25 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, представлена общая характеристика содержания работы по главам.

В первой главе определены основные требования, предъявляемые к электроприводу ПМ. Составлены обобщенная расчетная схема стреловых и нестреловых ПМ. Дифференциальные уравнения, описывающие движения отдельных масс ЭМС:

$$F_1 - F_y = m_1 p^2 s_1; \quad (1)$$

$$F_y - F_0 = m_2 p^2 s_2; \quad (2)$$

$$F_y + F_0 - F_{y0} = \frac{m_c}{\cos \theta} p^2 s_0. \quad (3)$$

где упругое усилие в канате

$$F_y = C_{12}(s_1 - s_2 - s_0);$$

упругое усилие металлоконструкции

$$F_{y0} = C_0 s_0 / \cos^2 \theta;$$

причем s_0 , s_1 , s_2 - перемещение стрелы, каната при наматывании его на барабан и груза соответственно;

m_0 , m_1 , m_2 - эквивалентная масса стрелы в точке подвеса груза, массы электропривода и груза, приведенные к линейному перемещению точки подвеса груза;

C_{12} , C_0 - коэффициенты жесткости каната и металлоконструкции на изгиб соответственно;

F_1 , F_0 , F_{y0} - результирующие усилия электропривода (движущее, тормозное), груза и металлоконструкции соответственно;

θ - угол наклона стрелы.

Структурная схема, составленная по уравнениям (1)-(3), показана на рис.1.

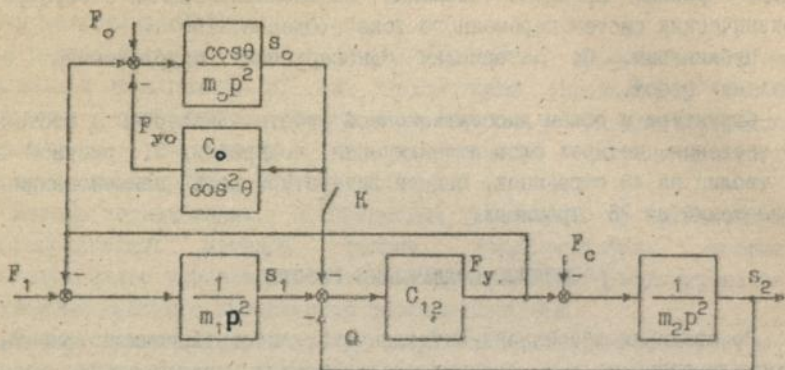


Рис.1. Структурная схема механической части ЭМС ПМ.

Произведено сопоставление двух систем асинхронного электропривода с тиристорным преобразователем напряжения (ТПН) и тиристорным преобразователем частоты (ТПЧ) по техническим показателям, энергетике и надёжности. По интегральным оценкам рекомендована система ТПН-АД, наиболее приемлемая для подъемных механизмов.

Во второй главе анализируются динамические режимы торможения двух- и трехмассовой ЭМС ПМ при разных видах механического и электрического торможения. При этом процесс торможения разделяется на три этапа:

1. Первый этап длительностью $t_{ср}$, когда двигатель уже отключен ($F_1=0$), а тормозное усилие F_T ещё не приложено. $t_{ср}$ определяется временем переключения электрических аппаратов и срабатывания механического тормоза. На этом этапе происходит изменение скорости электропривода V_1 под действием усилия от груза (его веса) F_c при отсутствии F_1 и F_T .
2. На втором этапе за время торможения t_T происходит интенсивное снижение скорости электропривода V_1 под действием тормозного усилия F_T . Этот этап заканчивается, когда скорость V_1 равна нулю.
3. На третьем этапе двигатель остается неподвижным, а груз и стрела (мост) совершают колебательные движения.

Решая уравнения (1)-(2) двухмассовой ЭМС для данного режима, можно получить выражения максимального упругого усилия в зватах полиспаста, а также выражения, определяющие максимальное граничное значение коэффициента динамичности при подъеме,

$$k_{\text{длmax}}^{\uparrow} = 1 + \gamma_2 \sqrt{\left(k_T + 1 + \sqrt{1 + k_T^2} \right)^2 + \gamma_1 \cdot (1 + k_T^2)} \quad (4)$$

и спуске

$$k_{\text{длmax}}^{\downarrow} = 1 + 2k_T / \gamma_2, \quad (5)$$

где k_T - коэффициент запаса торможения;

$$\gamma_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1}; \quad \gamma_2 = \frac{m_1 + m_2}{m_2}.$$

Заметим, что коэффициенты $k_{\text{длmax}}$ зависят только от k_T и γ , причем $k_{\text{длmax}}^{\uparrow} > k_{\text{длmax}}^{\downarrow}$. Замечено также, что их значения зависят от начальных условий каждого этапа. Доказано, что динамическая нагрузка минимальна (максимальна), если начальные значения упругого усилия для второго этапа торможения при спуске (или третьего этапа при подъеме) максимальны (минимальны).

Рассмотрено влияние на динамические нагрузки таких параметров, как жесткость каната C_{12} при изменении его длины, длительность срабатывания $t_{\text{ср}}$ тормоза или электрических аппаратов, начальное значение скорости V_{10} , а также жесткости механических характеристик β электропривода.

Минимизировать динамические нагрузки воздействием на жесткость C_{12} (длину каната l) это означает обеспечить начало торможения тогда, когда C_{12} (?) соответствует максимальным начальным значениям упругого усилия на соответствующем этапе. Однако для смещения начальных условий на полпериода требуется изменить длину каната l в 4 раза. Поэтому в общем случае для подъемных механизмов, высота подъема которых колеблется в пределах 5-50 м, динамическая нагрузка может быть минимальной лишь на одной-двух определенных высотах подъема. В связи с этим минимизация динамических нагрузок при торможении воздействием на жесткость C_{12} практически невозможна.

Доказано, что изменение начальной скорости торможения V_{10} приводит к изменению реального значения коэффициента динамичности, однако не выходящего за пределы граничных значений, определяемых формулами (4) и (5).

Зная период колебаний в начале торможения.

$$T_K = 2\pi \sqrt{\frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot \frac{1}{C_{12}}} \quad (6)$$

можно задавать время срабатывания $t_{\text{ср}}$ таким, чтобы начальное значение F_y на втором этапе было максимальным, а динамическая нагрузка - минимальной. Этот способ может быть реализован путем добавления к реальному конечному времени срабатывания тормоза (электрических аппаратов) необходимой паузы.

Исследование влияния жесткости механических характеристик β ЭП (рис.2) на динамические нагрузки при электрическом торможении показало, что подъемные механизмы можно классифицировать в зависимости от γ_2 : первая группа имеет $\gamma_2 < 25$, а вторая - $\gamma_2 > 25$. При этом доказано, что динамическая нагрузка второй группы механизмов, при любых видах торможения, не превышает 20 % от статической (рис.3, на котором $\Delta k_{1j} = k_{\text{дmax}1} - k_{\text{дmax}j}$, где 1 и j - обозначения соответствующих характеристик на рис.2).

Для первой группы механизмов изменение β проявляется сильно: при ее уменьшении динамические нагрузки снижаются. Поэтому для таких механизмов рекомендуется осуществлять электрическое торможение, управляя β в зависимости от веса груза, одновременно обеспечивая задачу поддержания тормозного пути постоянным.

Учет податливости металлоконструкции благодаря уравнению (3) приводит к комбинированному процессу колебания груза с двумя частотами:

$$\Omega_{01,02} = \frac{\sqrt{c\Omega_0^2 + \Omega^2} \pm \sqrt{(c\Omega_0^2 + \Omega^2)^2 - 4\Omega_0^2 \cdot \Omega^2}}{2}, \quad (7)$$

где Ω , Ω_0 - частота собственных колебаний двухмассовой ЭМС и металлоконструкции соответственно;

c - отношение коэффициентов жесткости каната и металлоконструкции.

Низкая частота обусловлена податливостью металлоконструкции, а высокая - жесткостью каната. При этом учете амплитуда колебаний скорости груза увеличивается на 50...150 % (рис.4). Что касается расчетных нагрузок по сравнению со случаем двухмассовой ЭМС, они снижаются на 7...30 % при торможении во время подъема и на 25 % - спуска.

В третьей главе исследуется динамика режима подъема груза с подхватом. При этом использовались уравнения (1) и (2) и

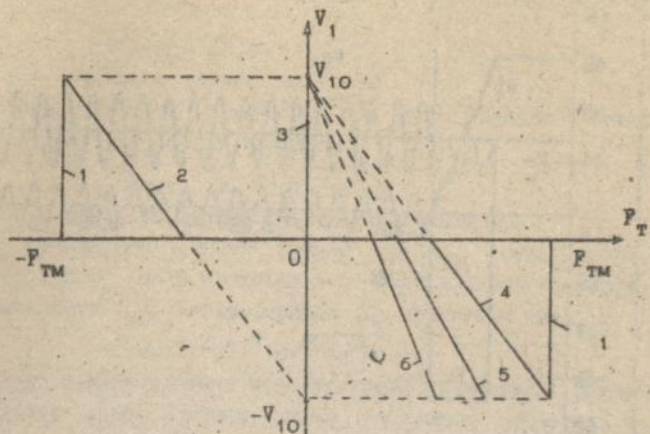


Рис.2. Механические характеристики при торможении ЭМС

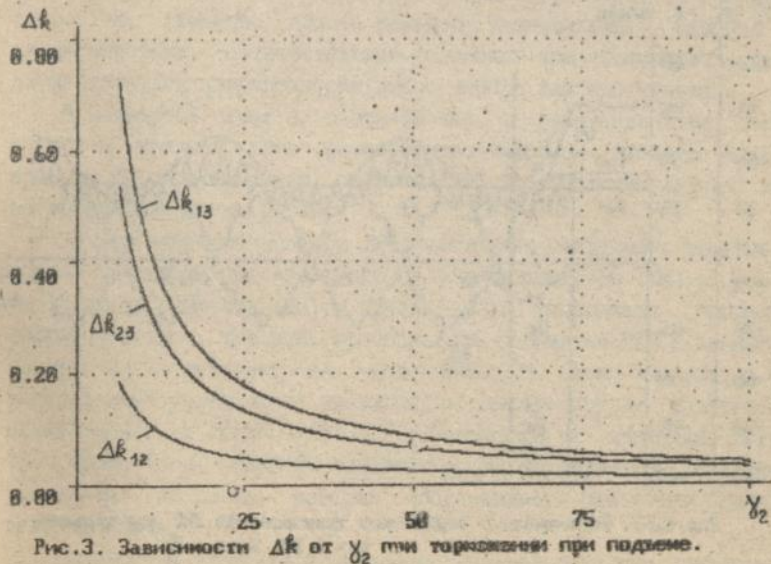


Рис.3. Зависимости Δk от χ_2 при торможении при подземе.

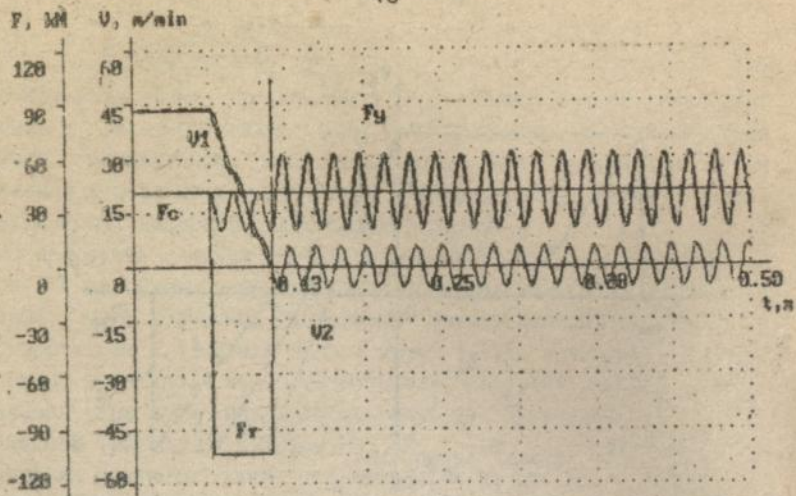


Рис. 4, а). Механическое торможение двухмассовой ЭМС при подходе.
 $k_g = 1.56$

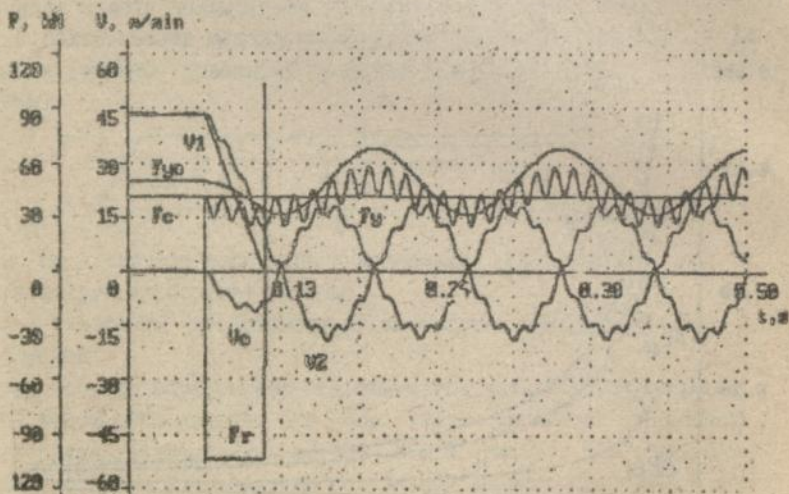


Рис. 4, б). Механическое торможение трехмассовой ЭМС при подходе.
 $k_g = 1.39$; $k_{g0} = 1.37$

уравнение линеаризованной механической характеристики электропривода (электромагнитными переходными процессами здесь допустимо пренебречь):

$$F_1 = F_{II} - \beta F_1, \quad (8)$$

где F_{II} - пусковое усилие двигателя.

Решение системы уравнений для трех этапов приводит к максимальному усилию при подхвате

$$F_{у\max} = F_c + V_{II} \sqrt{C_{12} m_2}, \quad (9)$$

где V_{II} - скорость двигателя в момент подхвата.

Для механизмов подъема второй группы, когда $\gamma_2 > 25$, можно считать, что V_{II} мало отличается от максимальной скорости выбора слабину каната V_{10} . Тогда формула (9) принимает вид:

$$F_{у\max} = F_c + V_{10} \sqrt{C_{12} m_2}. \quad (10)$$

Анализ и многократное моделирование позволили рекомендовать осуществлять выбор слабину каната следующим образом: в начале подъема, если положение командоаппарата соответствует разгону до максимальной скорости, электропривод механизмов первой группы ($\gamma_2 < 25$) должен разогнаться по специальной мягкой механической характеристике. У механизмов второй группы выбор слабину каната должен осуществляться, когда электропривод работает с пониженной скоростью, примерно вдвое меньшей номинальной. Переход на характеристику, соответствующую положению командоаппарата, должен осуществляться автоматически после выбора слабину каната.

В четвертой главе в соответствии с рекомендациями первой, второй и третьей глав разработана цифровая система электропривода ПМ с применением системы ТПН-АД, функциональная схема которой показана на рис.5.

Задача микроконтроллера (МК) состоит в следующем: получить и обработать информацию априорную от командоаппарата (КА) и рабочую от датчиков скорости (ДС) и груза (ДГ), выработать управляющий цифровой сигнал, который, преобразуясь с помощью ЦАП в аналоговый сигнал U_y , поступает на вход СИДУ. В свою очередь, СИДУ распределяет управляющие импульсы на рабочую группу тиристоров и осуществляет их сдвиг по фазе в зависимости от значения сигнала U_y . Кроме того, одной из основных задач МК является реализация регулятора скорости, который обеспечивает требуемые диапазоны регулирования.

Разработан алгоритм управления, определяющий все необходимые действия, который должен реализовывать МК в статических и

динамических режимах при переходе с одной механической характеристики на другую.

В результате стало возможным определить объемы памяти, необходимые для реализации отдельных подпрограмм, а также для всей управляющей программы в целом. Оказалось, что наибольший суммарный объем программ и таблиц может составить до 2 кБайт ПЗУ, а при расчетах может потребоваться до 256 Байт ОЗУ. Время выполнения основного цикла для указанного процессора не превышает 10 мс.

Все эти данные позволили сформулировать требования к архитектуре цифровой части САУ (рис.5).

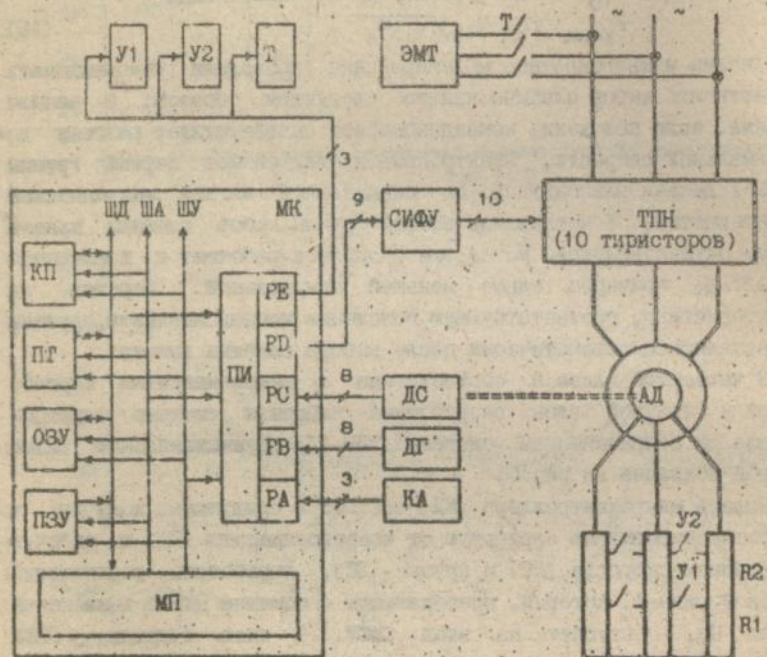


Рис.5. Функциональная схема электро привода ТПН-АД с микропроцессорным управлением.

Основные результаты работы.

Исследование взаимодействия электропривода, механической части электромеханической системы и металлоконструкции в переходных процессах при подъеме с подхватом груза, а также при торможении с применением разных видов механического и электрического торможения позволило разработать методику синтеза пусковых и тормозных характеристик, обеспечивающих ограничение динамических нагрузок независимо от веса поднятого груза и длины слабину канатов полиспаста.

Разработана цифровая система управления асинхронным электроприводом с тиристорным преобразователем напряжения; алгоритм функционирования обеспечивает требуемый закон изменения приводного усилия как при разгоне, так и торможении, а также в статическом режиме.

Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. При анализе энергетики асинхронных систем электропривода подъемных механизмов с ТПН-АД и ТПЧ-АД доказано, что учет динамических участков цикла их работы не оказывает особого влияния на энергетические показатели. Поэтому ими можно пренебречь при расчете этих показателей. В работе показано, что при мощностях более 30 кВт потери в асинхронном двигателе с фазным ротором при использовании системы ТПН-АД (без учета потерь в добавочных резисторах) больше, чем потери в асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором при работе с системой ТПЧ-АД.

2. Анализ динамических режимов показал, что подъемные механизмы можно классифицировать в зависимости от значения γ_2 (т.е. от соотношения инерционных масс электропривода и груза), разделив их на две группы: первая группа - $\gamma_2 < 25$, и вторая, когда $\gamma_2 > 25$. При этом доказано, что жесткость механических характеристик β не оказывает особого влияния на динамические нагрузки при подъеме с подхватом груза второй группы механизмов. Поэтому для них рекомендуется осуществлять выбор слабину каната при работе электропривода на характеристике с пониженной скоростью, а для механизмов первой группы - на мягкой механической характеристике.

3. Динамическая нагрузка второй группы механизмов при любых видах торможения не превышает 20 % от статической; поэтому ставить задачу снижения этих нагрузок у данной группы механизмов

нет необходимости. Так как расчетные нагрузки, время и путь при торможении первой группы механизмов существенно зависят от значения β , в работе рекомендуется оптимизировать управление электропривода воздействием на β так, чтобы снизить коэффициент динамичности до допустимого значения и одновременно поддерживать тормозной путь постоянным, повышая быстродействие процесса торможения независимо от веса поднятого груза.

4. Рекомендован способ оптимизации управления для минимизации пиковых нагрузок воздействием на время срабатывания механического тормоза или время задержки реверсивного контактора при электрическом торможении.

5. Доказано, что учет податливости металлоконструкции при расчете динамических нагрузок приводит к их снижению на 10...50 %.

6. Разработан алгоритм функционирования цифровых систем управления электропривод подъемных механизмов с ТНН-АД, обеспечивающий все рекомендации по способам управления и одновременно удовлетворяющий требования технологии.

7. Определены требования к аппаратным средствам микропроцессорной системы управления - объему памяти, быстродействию, устройствам ввода-вывода и сопряжения - ЦАП, АЦП, на основе которых реализуется алгоритм функционирования асинхронного электропривода подъемных механизмов.

Содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

1. Бушер В.В., Калинин А.Г., Аит Адди М. Методика расчета динамических нагрузок в подъемных механизмах ПТМ. - Одесса: 1995. -14с. - Деп. в ГНТБ Украины, № 2004-Ук.95.

2. Герасимьяк Р.П., Аит Адди М. Динамические нагрузки при торможении подъемных механизмов. - Одесса: 1996. -12с. - Деп. в ГНТБ Украины, № 1194-Ук.96.

3. Герасимьяк Р.П., Аит Адди М., Рамарувахуака А.М. Синтез электромеханической системы подъемных механизмов с подавлением упругих колебаний // Электромашиностроение и электрооборудование: Респ. межвед. науч.-техн. сб., 1996 - Вып. 48. - С. 30-37.

4. Герасимьяк Р.П., Аит Адди М. Рекомендации по способам торможения подъемных механизмов // Труды научно-технической конференции с международным участием. Крым, Алушта, 16-21 сентября 1996. Проблемы автоматизированного электропривода. - Теория и практика. - Харьков, ОСНОВА, 1996, с.170-172.

5. Герасим'як Р.П., Айт Адди М. Управление електроприводом підъемних механізмів в тормозних режимах. Праці науково-технічної конференції. "Електромеханіка Теорія і практика". Львів-Славськ, 1996, с. 27-39.

АЙТ АДДІ Мааті. "Мікропроцесорне керування асинхронним електроприводом підйомних механізмів". Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук з фаху 05.09.03 - Електротехнічні комплекси та системи, включаючи їх управління і регулювання. Одеський державний політехнічний університет.

Проаналізовані та співставлені системи асинхронного електропривода підйомних механізмів (ПМ) щодо технічних та техніко-економічних показників; обраний шонайкращий електропривод.

Проведено аналіз динамічних режимів гальмування та підйому з підхопленням двох - і тримасової електро механічної системи (ЕМС) ПМ. Розглянуто вплив параметрів електропривода та механічної частини на поведінку ЕМС ПМ, зроблені рекомендації щодо засобів керування електроприводом.

Розроблено алгоритм функціонування числових систем керування асинхронним електроприводом ПМ, що задовольняє вимогам технології та обмежує динамічні навантаження елементів кінематики та металоконструкції.

Ключові слова: підйомні механізми, асинхронний електропривод, динамічні навантаження, гальмування, підйом з підхопленням, мікропроцесорне керування.

АЙТ АДДІ Мааті.

"Microprocessor control of induction motor drive of lifting mechanisms": thesis theme to reach the Doctor of Philosophy (Ph.D.) scientific degree in the speciality 05.09.03: "Electrotechnical complexes and systems, their control and automation".

Induction motor drive systems for lifting mechanisms has been analysed and compared by the technical and economical performances in order to choose the more proper of them.

The braking and elevation dynamic modes of two- and three-mass electro-mechanical systems of lifting mechanisms (EMS LM) has been analysed.

The electric drive and mechanical part parameters influence on the comportment of the EMS IM has been analysed. Recomendations of their control methods has been given.

Digital microprocessor control systems of induction motor drive of lifting mechanisms has been designed. Executive routines providing necessary requirements and limiting the dynamical load of kinematics and metalloconstruction has been proposed.

Подписано к печати 15.05 97. Формат 60x84/16. Бумага газетная.
 Печать офсетная. 1,0 учетно-изд.л., 0,93 усл.печ.л. Тираж 100 экз.
 Заказ № 17

Одесский государственный политехнический университет.
 270044, Одесса, пр. Шевченко, 1