

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи
УДК 62-83:621.876

**ШВАЯКОВ
АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ**

**СИСТЕМА ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ
РЕДУКТОРНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ЛИФТА
С НЕЛИНЕЙНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ СКОРОСТИ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Минск, 2014

Работа выполнена в государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет» на кафедре «Электропривод и автоматизация промышленных установок»

Научный руководитель: Коваль Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» (г. Могилев)

Официальные оппоненты: Фираго Бронислав Иосифович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» Белорусского национального технического университета (г. Минск);

Стрижнев Александр Гаврилович, кандидат технических наук, начальник сектора НП ООО «Техносоюзпроект» (г. Минск)

Оппонирующая организация: Белорусский государственный технологический университет, кафедра «Автоматизации производственных процессов и электротехники» (г. Минск)

Защита состоится «28» февраля 2014г. в 14 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.02 в Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, корп. 2, ауд. 201, тел. 293-71-63.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «22» января 2014г.

Отзывы на автореферат диссертации просим высылать в двух экземплярах на адрес университета и по факсу (8-017) – 231-36-17 (для стран СНГ (8-10-375-17) – 231-36-17) на имя председателя Совета по защите диссертаций Ф.А. Романюка.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
доктор технических наук, профессор



И.И. Сергей

© Шваяков А.В., 2013

© Белорусский национальный
технический университет, 2013

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большинство лифтов в Республике Беларусь со скоростью движения кабины до 2 м/с и высотой подъема до 75 м имеют редукторный привод лебедок с двухскоростным асинхронным двигателем. Основным путем совершенствования приводов лифтовых лебедок заключается в применении частотно-регулируемого электропривода. Наибольшее распространение в лифтах с регулируемым электроприводом получил частотно-регулируемый электропривод на базе односкоростного асинхронного двигателя, основной задачей которого является отработка диаграммы движения. Качество отработки диаграммы движения кабиной лифта зависит от динамических свойств электропривода. Частотное регулирование реализуется двумя основными способами: скалярное управление и векторное управление. Электропривод с векторным способом управления обладает лучшими динамическими свойствами по сравнению со скалярным способом. Динамические свойства электропривода с векторным способом управления определяются структурой системы управления. Выбор частотно-регулируемого электропривода для привода лебедки, как правило, выполняется без учета особенностей реализации системы векторного управления. Принимая во внимание динамические свойства систем векторного управления, особый интерес для привода лебедок, представляют системы векторного управления при прямом управлении моментом.

Системы управления электроприводом лебедок, применяемые в лифтах, имеют контур управления скоростью. Качество отработки диаграммы движения зависит от настройки регулятора контура управления скоростью и может быть улучшено посредством учета электромеханического взаимодействия, т.е. посредством учета возможности электропривода демпфировать колебания в механической части привода.

Качество отработки диаграммы движения также зависит от параметров диаграммы движения (максимальное ускорение, рывок). Диаграммы движения в лифтах с частотно-регулируемым электроприводом повторяют диаграммы движения, реализуемые в лифтах с нерегулируемым приводом лебедки на базе двухскоростного асинхронного двигателя. Такой подход не учитывает возможностей регулируемого электропривода по формированию диаграмм движения с учетом частотных свойств электропривода.

Таким образом, задача совершенствования технического уровня лифтов с частотно-регулируемым электроприводом лебедки заключается в учете динамических свойств электропривода, в учете возможности электропривода демпфировать колебания в механической части и в учете возможности формирования диаграмм движения, учитывающих частотные свойства электропривода.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами и темами

Научные исследования по теме диссертационной работы проводились в рамках научно-исследовательских работ по темам:

– «Разработка базы знаний и программного комплекса нечеткого регулятора для систем автоматизированного электропривода», ГБ 0417 Ф (2004 г.) № ГР 20043857;

– «Разработка электропривода для технологического оборудования и транспорта в том числе с микропроцессорными системами управления и реализации систем энергосбережения», ГБ 0626 (2006г.) № ГР 20061126;

– «Разработка алгоритма работы и программного обеспечения нечеткого регулятора для контура управления скоростью электропривода лифтовой установки», ГБ 0802 Ф (2008 г.) № ГР 20081187.

Актуальность диссертационной работы обусловлена необходимостью повышения качества работы массовых лифтов с регулируемым электроприводом.

Цель и задачи исследования

Цель работы – разработка системы управления редукторным регулируемым электроприводом главного движения массовых лифтов со скоростью движения до 2 м/с с улучшенными динамическими характеристиками при учете упругих и нелинейных свойств механической части.

Задачи исследования:

– разработка способа формирования диаграммы движения, учитывающего частотные свойства регулируемого электропривода главного движения лифта;

– разработка системы управления электроприводом с регулятором скорости, компенсирующим нелинейные свойства червячного редуктора в лифтах с регулируемым электроприводом;

– разработка математической модели механической части электропривода лифта главного движения со скоростью движения до 2 м/с, отличающейся учетом зависимости потерь в червячном редукторе от загрузки редуктора и угловой скорости червяка.

Положения, выносимые на защиту

Автором защищаются:

– способ формирования диаграммы движения, учитывающий частотные

свойства регулируемого электропривода главного движения лифта;

– система управления электроприводом с регулятором скорости, компенсирующим нелинейные свойства червячного редуктора в лифтах с регулируемым электроприводом;

– математическая модель механической части электропривода лифта главного движения со скоростью движения до 2 м/с, отличающаяся учетом зависимости потерь в червячном редукторе от загрузки редуктора и угловой скорости червяка.

Личный вклад соискателя

Научные и практические результаты диссертационной работы, положения, выносимые на защиту, разработаны и получены лично соискателем или при его непосредственном участии.

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты диссертационной работы обсуждались на следующих конференциях:

– межрегиональной научно–технической конференции студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика» (г. Смоленск, филиал МЭИ (ТУ), 2004, 2006, 2007, 2008, 2009 г.);

– международной научно–технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (г. Могилев, ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2006, 2007, 2008 г.);

– научно–практической конференции «Развитие приграничных регионов Беларуси и России на современном этапе: проблемы и перспективы» (г. Могилев, ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2006 г.);

– республиканской научно–технической конференции «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (г. Могилев, ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2007, 2008 г.);

– 62–й Научно–технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов Белорусского национального технического университета (г. Минск, Белорусский национальный технический университет, 2009 г.).

Опубликованность результатов диссертации

Основное содержание работы изложено в 23 научных работах, в том числе в 8 статьях в рецензируемых журналах, включенных в Перечень ВАК Республики Беларусь, общим объемом 5 авторских листов, в 2 сборниках науч-

ных статей, в 5 сборниках научных трудов, в 7 сборниках материалов международных конференций, получен 1 патент Республики Беларусь на изобретение.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертационной работы составляет 219 страниц, в том числе 109 рисунка на 82 страницах, 24 таблицы на 24 страницах, библиографический список на 13 страницах (153 наименования), список публикаций соискателя на 4 страницах (25 наименований), 16 приложений на 72 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность научно-технической задачи совершенствования технического уровня лифтов с редукторным частотно-регулируемым электроприводом лебедки. Отмечено, что задача совершенствования технического уровня лифтов с частотно-регулируемым электроприводом лебедки связана с учетом динамических свойств электропривода, с учетом возможностей электропривода демпфировать колебания в механической части и с возможностью электропривода формировать диаграммы движения, учитывающие частотные свойства электропривода.

В общей характеристике работы сформулированы цель и задачи исследований, представлены основные положения, выносимые на защиту, показан уровень опубликованности и апробированности результатов диссертации.

В первой главе представлено описание электропривода (ЭП) лифта как системы, состоящей из электрической и механической подсистем, и выполнен обзор возможных вариантов их реализации [5, 14, 15]. Обозначены задачи, рассматриваемые в последующих главах.

Во второй главе приведены математические модели системы управления при прямом управлении моментом (ПУМ), системы управления при прямом управлении моментом с широтно-импульсным модулятором напряжения (ПУМ–ШИМ) и комбинированной системы (КПУМ) (рисунок 1), позволяющие рассчитать переходные процессы по различным координатам электропривода на базе односкоростного асинхронного двигателя (АД) [2, 10, 18]. Приведен алгоритм определения параметров T-образной схемы замещения асинхронного двигателя по переходной характеристике силы тока статора [1, 12, 16, 17].

Представлено программное обеспечение для реализации алгоритма управления при ПУМ, отличающееся тем, что может быть использовано как для построения имитационной модели в MATLAB посредством S-функции на

Разработан макет устройства для измерения линейного ускорения. Устройство испытывалось на РУП завод «МОГИЛЕВЛИФТМАШ» и применялось для оценки ускорений и резонансных частот на строительном мачтовом подъемнике ПМГП–2000, а также на экспериментальных и действующих пассажирских и грузовых лифтах [21]. На рисунке 4 приведены результаты записи ускорения кабины лифта с нерегулируемым двухскоростным асинхронным электроприводом, а также результаты расчета переходного процесса ускорения кабины лифта, полученные при помощи имитационной модели.

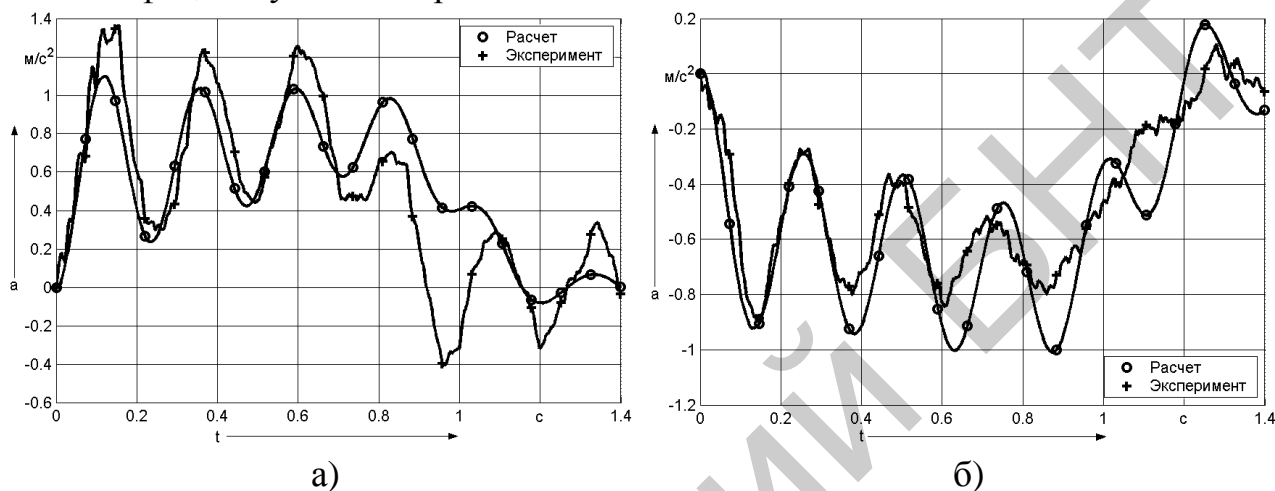
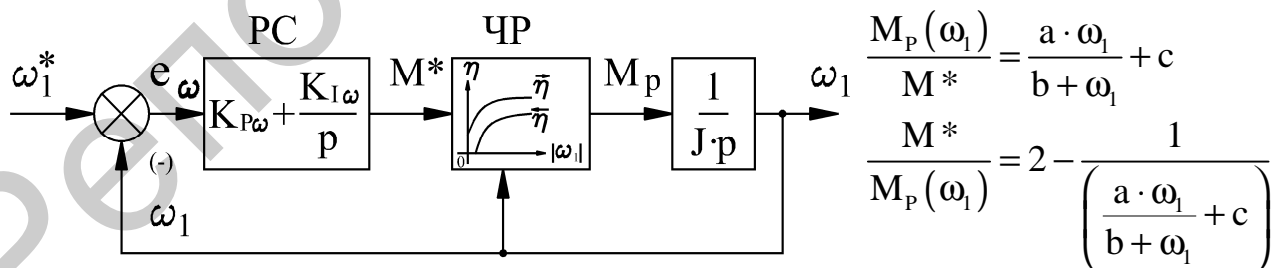


Рисунок 4 – Результаты эксперимента и численного расчета переходных процессов ускорения кабины лифта с нерегулируемым двухскоростным асинхронным электроприводом лебедки:

а – поездка с первого на второй этаж; б – поездка со второго на первый этаж

В четвертой главе выполнен анализ частотных свойств контура управления моментом асинхронного двигателя для системы управления при ПУМ–ШИМ и установлено, что при обработке низкочастотных сигналов обработку сигнала задания по моменту можно считать мгновенной.

Выполнен анализ частотных свойств контура управления скоростью с пропорционально–интегральным регулятором (рисунок 5). Установлено [4], что



РС – регулятор скорости; ЧР – червячный редуктор; ω_1^* – сигнал задания угловой скорости асинхронного двигателя; ω_1 – сигнал обратной связи по угловой скорости асинхронного двигателя; e_ω – ошибка регулирования; $K_{P\omega}$ – коэффициент усиления пропорциональной части регулятора скорости; $K_{I\omega}$ – коэффициент усиления интегральной части регулятора скорости; M^* – сигнал задания момента асинхронного двигателя; M_p – приведенный к валу двигателя момент на выходе червячного редуктора; J – суммарный момент инерции ЭП лифта; a, b, c – постоянные коэффициенты

Рисунок 5 – Упрощенная структурная схема системы управления ЭП лифта

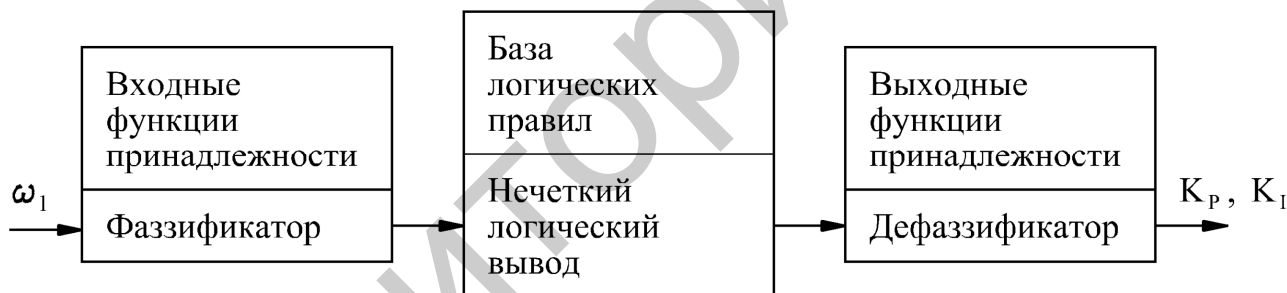
частота среза контура управления скоростью с пропорционально–интегральным (ПИ) регулятором зависит от текущего значения КПД червячного редуктора, что не учитывается в действующих системах управления электроприводом лифтов. С целью учета упомянутой зависимости предложен регулятор скорости (рисунок 6), на основе алгоритмов нечеткой логики, [9, 11, 20, 24, 25].



Y^* – сигнал задания (заданная угловая скорость); Y – сигнал обратной связи (текущая угловая скорость асинхронного двигателя); K_p – коэффициент усиления пропорциональной части регулятора; K_i – коэффициент усиления интегральной части регулятора; u – сигнал управления регулятора

Рисунок 6 – Структура регулятора скорости на основе алгоритмов нечеткой логики

Структура регулятора, на основе алгоритмов нечеткой логики, приведена на рисунке 7.



ω_1 – угловая скорость асинхронного двигателя; K_p , K_i – коэффициенты усиления пропорциональной и интегральной частей регулятора соответственно

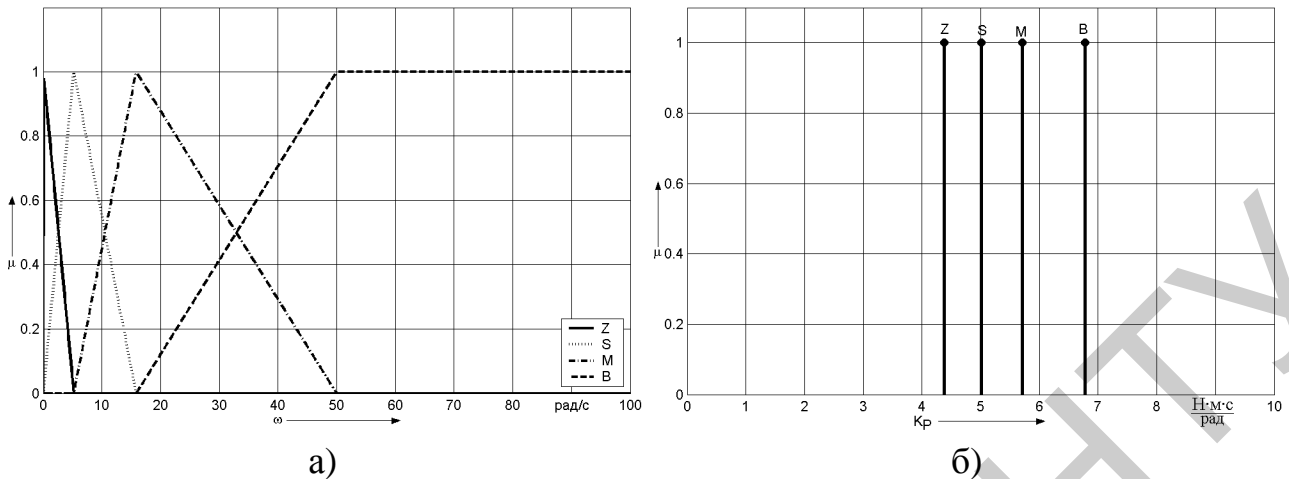
Рисунок 7 – Структура регулятора на основе алгоритмов нечеткой логики

Регулятор (см. рисунок 7), характеризуется базой логических правил (таблица 1), входными и выходными функциями принадлежности (рисунок 8) и нечетким логическим выводом (метод Мамдани).

Таблица 1 – База логических правил для K_p , K_i

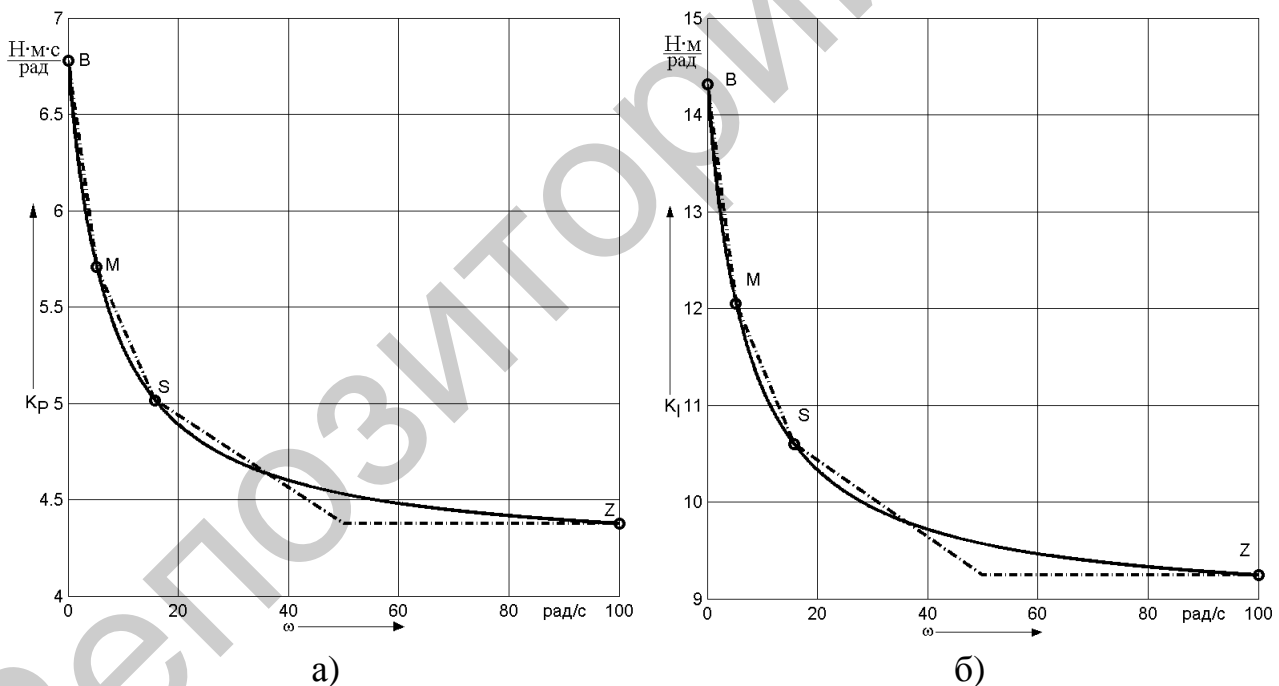
ω , рад/с	Z	S	M	B
K_p , Н·м·с/рад	B	M	S	Z
K_i , Н·м/рад	B	M	S	Z

Примечание: B, M, S, Z – опорные точки регулятора на основе алгоритмов нечеткой логики



В, М, S, Z – опорные точки регулятора на основе алгоритмов нечеткой логики
Рисунок 8 – Графики функций принадлежности для K_p :
 а – входной переменной; б – выходной переменной

Регулятор скорости на основе алгоритмов нечеткой логики воспроизводит зависимость коэффициентов пропорциональной и интегральной частей регулятора от угловой скорости червяка (рисунок 9).



K_p – коэффициент усиления пропорциональной части регулятора; K_i – коэффициент усиления интегральной части регулятора; ω – угловая скорость червяка; В, М, S, Z – опорные точки регулятора на основе алгоритмов нечеткой логики

Рисунок 9 – Зависимость от угловой скорости червяка коэффициента усиления регулятора скорости на основе алгоритмов нечеткой логики:
 а – пропорциональной части K_p ; б – интегральной части K_i

Выполнена оценка электромеханического взаимодействия электрической и механической подсистем путем расчета коэффициента электромехани-

ческой связи для электропривода лифта с регулятором скорости на основе алгоритмов нечеткой логики. Показано, что при использовании регулятора скорости на основе алгоритмов нечеткой логики, коэффициент электромеханической связи в зависимости от положения кабины лифта в шахте лежит в диапазоне 0.35–1.6 (рисунок 10), что соответствует существенной электромеханической связи, т. е. электропривод демпфирует колебания механической подсистемы [7, 8].

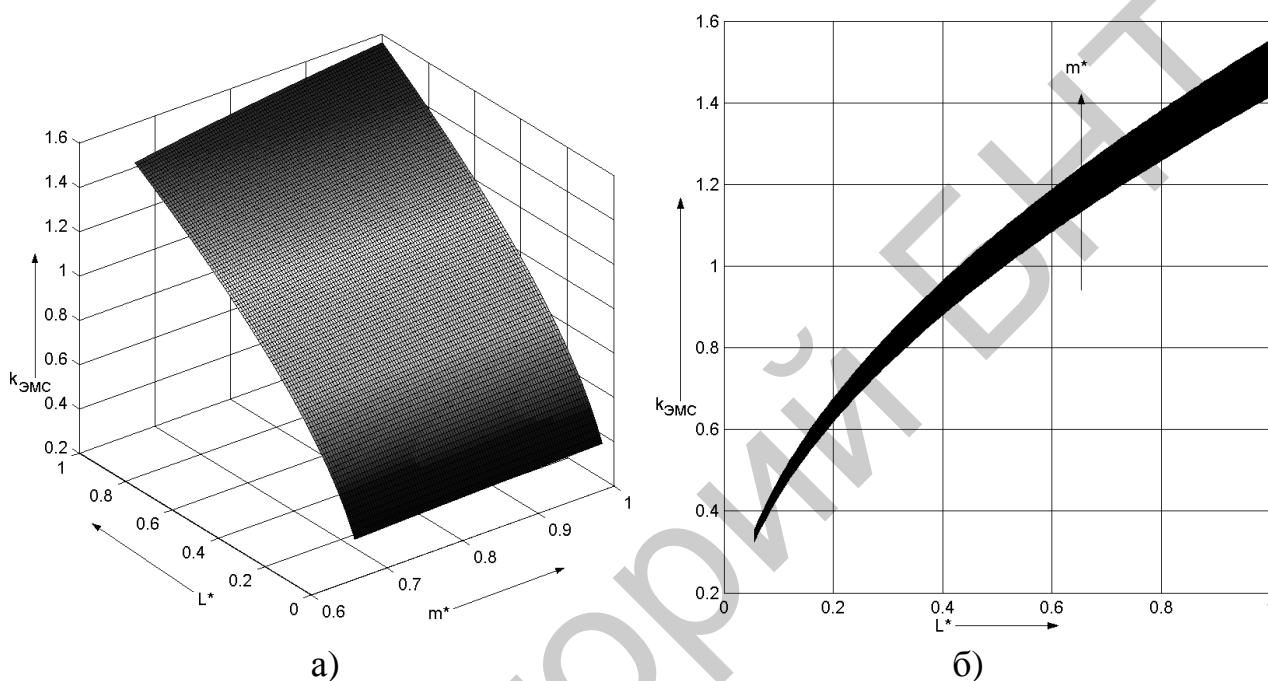
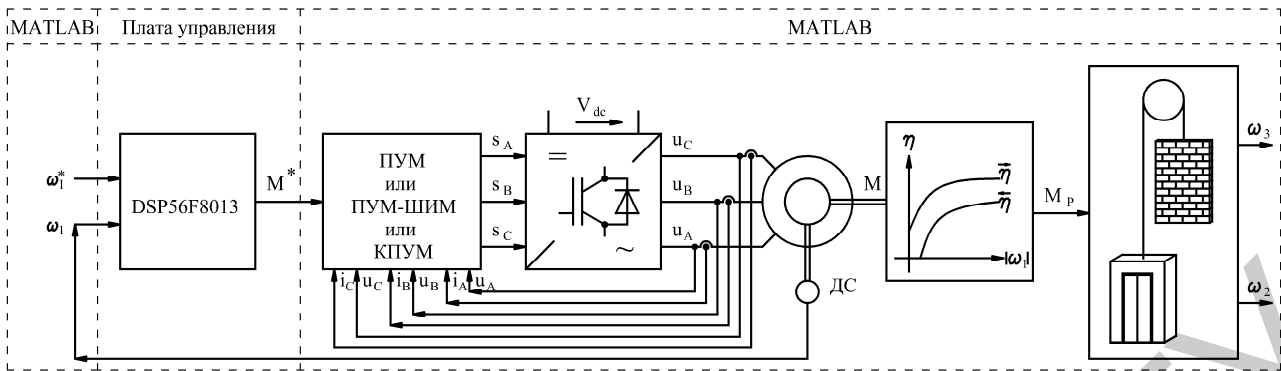


Рисунок 10 – Зависимость коэффициента электромеханической связи:
 а – от относительной загрузки кабины m^* и относительного положения L^* ; б – от относительного положения кабины L^*

Программно реализован регулятор скорости на основе алгоритмов нечеткой логики, что позволило оценить время выполнения программы при различных способах реализации и обоснованно подойти к выбору элементной базы при практической реализации.

Разработан программно-аппаратный комплекс (рисунок 11) для исследования переходных процессов в системе управления с регулятором скорости на основе алгоритмов нечеткой логики. Аппаратная часть комплекса представлена персональным компьютером и платой управления со специализированным микроконтроллером DSP56F8013, программная часть – программой MATLAB и управляющей программой для микроконтроллера DSP56F8013 [25].



ДС – датчик угловой скорости; ω_1^* – сигнал задания угловой скорости асинхронного двигателя; ω_1 – сигнал обратной связи по угловой скорости асинхронного двигателя; M^* – сигнал задания момента; M – момент асинхронного двигателя; s_A, s_B, s_C – сигналы управления силовыми ключами инвертора; V_{dc} – напряжение цепи постоянного тока; u_A, u_B, u_C – мгновенные значения напряжения на выходе инвертора; i_A, i_B, i_C – мгновенные значения силы тока на выходе инвертора; M_p – момент на выходе червячного редуктора; ω_2, ω_3 – приведенные к валу двигателя угловые скорости кабины лифта и противовеса

Рисунок 11 – Функциональная схема программно-аппаратного комплекса

В пятой главе получены аналитические выражения для расчета амплитудного спектра (1) S–диаграммы движения кабины лифта при формировании диаграммы движения с постоянством рывка (2) и (3).

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^N \left(A_n \cdot \cos \left(\frac{2 \cdot n \cdot \pi \cdot t}{(2 \cdot L)} \right) \right) \quad (1)$$

где $f(t)$ – функция (закон изменения скорости кабины лифта); A_0, A_n – коэффициенты определяемые (2) и (3) соответственно, м/с; n – целое число, принимает значения 1, 2, ...; N – длина ряда; t – время, с; $(2 \cdot L)$ – интервал задания функции $f(x)$.

$$|A_0| = \frac{1}{2} \cdot \frac{t_r + t_a}{2 \cdot t_r + t_a} \cdot |a \cdot (t_a + t_r) + r \cdot t_r^2|; \quad (2)$$

$$|A_n| = \frac{2 \cdot (2 \cdot t_r + t_a)}{n^3 \cdot \pi^3} \cdot \left| \begin{array}{l} n \cdot \pi \cdot (t_r \cdot r - a) \cdot \left((-1)^{n-1} + \cos \left(\frac{n \cdot \pi \cdot t_r}{2 \cdot t_r + t_a} \right) \right) - \\ - 2 \cdot r \cdot (2 \cdot t_r + t_a) \cdot \sin \left(\frac{n \cdot \pi}{2} \right) \cdot \cos \left(\frac{n \cdot \pi \cdot t_a}{2 \cdot (2 \cdot t_r + t_a)} \right) \end{array} \right|, \quad (3)$$

где t_r – время движения с постоянным рывком, с; t_a – время движения с постоянным ускорением, с; a – допустимое (максимальное) ускорение, м/с²; r – допустимый (максимальный) рывок, м/с³; n – целое число, $n = 1, 2, 3, \dots$

Установлено, что амплитудный спектр S–диаграммы движения кабины лифта с постоянством рывка может быть сведен к двум составляющим (4) при выборе времени движения с постоянным рывком, равным времени движения с постоянным ускорением.

$$\dot{v}(t) = A_0 - A_1 \cdot \cos(\omega_d \cdot t), \quad (4)$$

где $\dot{v}(t)$ – закон изменения скорости, м/с; ω_d – частота, рад/с.

Выполнен анализ частотных свойств электропривода лифта и установлено, что при обработке диаграммы движения в переходном процессе по ускорению кабины лифта возникают составляющие с частотами, равными собственным частотам трехмассовой расчетной схемы, и амплитудами, зависящими от параметров диаграммы движения и лифтовой установки. Причем в лифте с регулируемым электроприводом эти составляющие затухают вследствие демпфирующих свойств регулируемого электропривода при соответствующей настройке регуляторов системы управления. Установлено, что для качественного воспроизведения сигнала задания необходимо, чтобы частотные составляющие диаграммы движения имели частоты существенно меньше наименьшей частоты резонанса трехмассовой расчетной схемы.

Показано, что частотные свойства регулируемого электропривода лифта существенным образом зависят от положения кабины лифта в шахте и массы груза, в частности, изменяются частоты резонанса.

Предложен способ [23] формирования диаграммы движения, учитывающий частотные свойства электропривода, в соответствии с которым в закон изменения скорости (4) вводится поправочный коэффициент, учитывающий частотные свойства электропривода лифта (5).

$$\dot{v}(t) = A_0 - k_f \cdot A_1 \cdot \cos(\omega_d \cdot t), \quad (5)$$

где k_f – поправочный коэффициент, зависящий от частотных свойств ЭП лифта.

Установлено, что поправочный коэффициент k_f зависит как от относительного положения L^* , так и от относительной загрузки m^* кабины лифта (рисунки 12). Анализ зависимостей $k_f(L^*)$ и $k_f(m^*)$ показывает, что коэффициент k_f в большей степени зависит от относительного положения L^* . Усредненная зависимость $k_f(L^*)$ может быть описана (6):

$$k_f(L^*) = k \cdot L^* + 1, \quad (6)$$

где k – постоянный коэффициент; L^* – относительное положение кабины лифта в шахте.

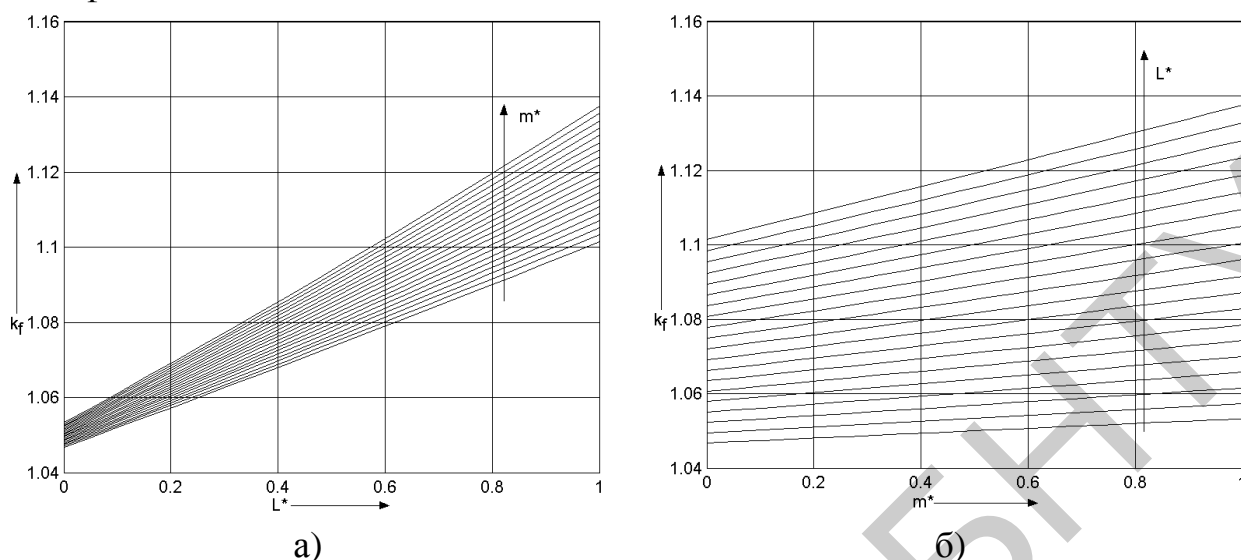
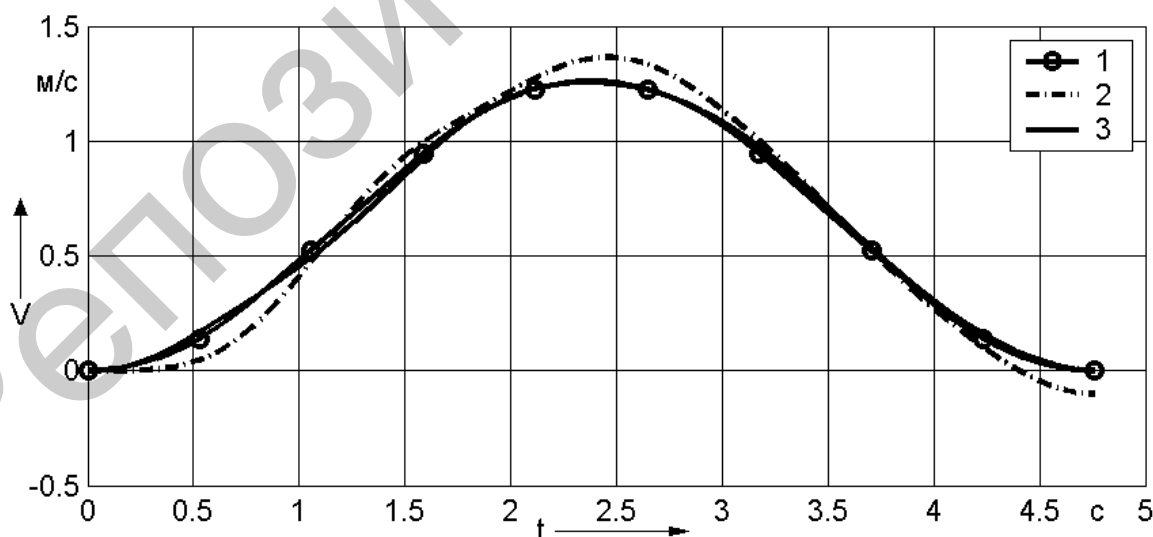


Рисунок 12 – Зависимости коэффициента k_f от:
а – положения кабины лифта в шахте L^* ; б – загрузки кабины m^*

Показано, что предлагаемый способ позволяет улучшить переходные процессы (рисунок 13) при отработке диаграммы движения кабины лифта по сравнению с общепринятым способом формирования S -диаграммы с постоянством рывка, что подтверждается результатами расчета квадратичной интегральной оценки (таблица 2). Анализ (б) позволяет сделать вывод о том, что данный способ формирования диаграммы движения может быть реализован в типовых лифтах с регулируемым электроприводом, т. к. положение кабины лифта в них контролируется специализированными контроллерами.



1 – сигнал задания диаграммы движения; 2 – отработка диаграммы движения без учета частотных свойств; 3 – отработка диаграммы движения при учете частотных свойств

Рисунок 13 – Переходные процессы скорости кабины лифта грузоподъемностью 1000 кг и высотой 30 м при поэтажном разезде

Таблица 2 – Результаты расчета квадратичной интегральной оценки

Характеристика сигнала задания	Значение квадратичной интегральной оценки, о.е.
Сигнал задания формируется по S–диаграмме движения с постоянством рывка	13.6
Сигнал задания формируется с учетом частотных свойств ЭП лифта (базовая величина)	1

Примечание: расчет квадратичной интегральной оценки выполнялся по (7).

$$I_V = \int_0^T (V^* - V_K)^2 dt, \quad (7)$$

где I_V – квадратичная интегральная оценка, $\text{м}^2/\text{с}$; T – время движения кабины лифта, с; V^* – сигнал задания скорости кабины лифта, $\text{м}/\text{с}$; V_K – сигнал по скорости кабины лифта, $\text{м}/\text{с}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Представлена математическая модель электрической подсистемы электромеханической системы лифта с регулируемым ЭП, которая позволяет рассчитывать переходные процессы различных координат ЭП (угловая скорость АД, электромагнитный момент АД, мгновенное значение тока любой из фаз, мгновенное значение напряжения любой из фаз и т. д.). Расчет переходных процессов может быть выполнен для системы управления при прямом управлении моментом, системы векторного управления при прямом управлении моментом с широтно-импульсным модулятором напряжения и комбинированной системы управления [2, 10, 18].

2. Представлена упрощенная математическая модель регулируемого ЭП с системой векторного управления при прямом управлении моментом с широтно-импульсным модулятором напряжения для одномассовой расчетной схемы, позволяющая рассчитать переходные процессы различных координат ЭП в двухфазной системе координат (проекция вектора тока статора \dot{i}_s , проекция вектора напряжения статора \dot{u}_s , электромагнитный момент АД, потокосцепление статора АД, угловая скорость АД) [3, 13, 19].

3. Разработана математическая модель механической подсистемы ЭП лифта, отличающаяся учетом упругости канатов и зависимости потерь в червячном редукторе от угловой скорости червяка и загрузки редуктора. Математическая модель позволяет рассчитать переходные процессы различных коор-

динат ЭП (угловая скорость, момент упругости) [4, 5, 6, 14, 22].

4. Установлено, что частота среза контура управления скоростью с ПИ–регулятором зависит от текущего значения КПД червячного редуктора. Это не учитывается в действующих системах управления ЭП лифтов и приводит к нежелательному перерегулированию и возникновению незатухающих колебаний по скорости кабины лифта [4].

5. Установлено, что в системе управления ЭП с регулятором скорости, основанным на алгоритмах нечеткой логики, достигаются лучшие переходные процессы, чем в системе управления ЭП с классическим ПИ–регулятором, что подтверждается результатами расчета квадратичной интегральной оценки. Предложена инженерная методика синтеза системы управления с регулятором скорости, основанным на алгоритмах нечеткой логики [4, 20, 15].

6. Выполнена оценка электромеханического взаимодействия электрической и механической подсистем путем расчета коэффициента электромеханической связи для ЭП лифта с регулятором скорости, основанным на алгоритмах нечеткой логики. Установлено, что при использовании регулятора скорости, основанным на алгоритмах нечеткой логики, коэффициент электромеханической связи в зависимости от положения кабины лежит в диапазоне 0.35–1.6, что соответствует существенной электромеханической связи, т. е. ЭП демпфирует колебания механической подсистемы [7, 8].

7. Получены аналитические выражения для расчета амплитудного спектра S–диаграммы движения при формировании диаграммы движения с постоянством рывка. Установлено, что при отработке диаграммы движения в переходном процессе ускорения кабины лифта возникают составляющие с частотами, равными собственным частотам трехмассовой расчетной схемы, и амплитудами, зависящими от параметров диаграммы движения и лифтовой установки. Причем, в регулируемом ЭП эти составляющие затухают вследствие демпфирующих свойств регулируемого электропривода при соответствующей настройке регуляторов системы управления. Установлено, что для качественного воспроизведения сигнала задания необходимо, чтобы частотные составляющие диаграммы движения имели частоты существенно меньше наименьшей частоты резонанса трехмассовой расчетной схемы, что не учитывается при формировании диаграмм движения на практике и приводит к переходным процессам с нежелательной колебательностью. Полученные аналитические выражения позволяют на этапе проектирования лифта оценить возможность реализации желаемой диаграммы движения. Предложен способ формирования диаграммы движения, учитывающий частотные свойства электромеханической системы лифта. Установлено, что предлагаемый способ позволяет улучшить переходные процессы при отработке диаграммы движения по сравнению с общепринятым

способом формирования S–диаграммы с постоянством рывка [23].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Предложено математическое описание электромеханической системы лифтов с регулируемым ЭП для применения в конструкторской практике на РУП завод «МОГИЛЕВЛИФТМАШ».

2. Разработанное программное обеспечение на языке «Си» для реализации алгоритма управления при прямом управлении моментом, отличающееся тем, что может быть использовано как для построения имитационной модели в MATLAB посредством S–функции, так и для применения в микропроцессорных устройствах, разработанных на базе микроконтроллера с сопроцессором для выполнения операций над числами в формате с плавающей точкой, позволит сократить время разработки на 7 % (справка о возможном практическом использовании результатов исследования ОДО «СТРИМ»).

3. Разработан макет устройства для измерения линейных ускорений, позволяющий записать переходные процессы ускорения в лифтах. Разработанное устройство испытывалось на РУП завод «МОГИЛЕВЛИФТМАШ» и применялось для измерения ускорений на экспериментальных и серийных лифтах, а также на строительном мачтовом подъемнике ПМГП–2000 [21].

4. Разработан макет регулятора скорости, функционирующего на основе алгоритмов нечеткой логики, для контура управления скоростью редукторного ЭП лифта (разработано программное обеспечение на языке «Си» для микроконтроллера DSP 56F8013). Разработанное программное обеспечение может быть рекомендовано для оценки времени выполнения программы, что позволяет обоснованно подойти к выбору элементной базы при практической реализации.

5. Разработан макет устройства, предназначенного для формирования сигнала задания скорости с учетом частотных свойств электромеханической системы лифта. Разработанное устройство может быть рекомендовано как прототип устройства формирования диаграммы движения в станциях управления движением лифтов [23].

6. Результаты диссертационных исследований внедрены в учебный процесс по специальности 1–53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» в виде лекций и цикла лабораторных работ по дисциплине «Моделирование в электроприводе».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1. Коваль, А.С. К вопросу идентификации электромагнитных параметров асинхронного двигателя / А.С. Коваль, А.В. Шваяков // Вестн. Могилев. гос. техн. ун-та. – 2006. – № 2. – С. 86–93.
2. Коваль, А.С. К вопросу математического моделирования системы векторного управления при прямом управлении моментом на основе широтно-импульсной модуляции / А.С. Коваль, А.В. Шваяков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 2. – С. 90–97.
3. Коваль, А.С. К вопросу исследования частотных свойств электропривода при прямом управлении моментом с широтно-импульсной модуляцией в лифтовых установках / А.С. Коваль, А.В. Шваяков // Изв. вузов и энергет. об-ний СНГ. Энергетика. – 2008. – № 1. – С. 24–33.
4. Коваль, А.С. К вопросу построения нечеткого регулятора скорости для электропривода при ПУМ с ШИМ лифтовой установки / А.С. Коваль, А.В. Шваяков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2008. – № 1. – С. 114–122.
5. Коваль, А.С. К вопросу синтеза линейно-квадратичного регулятора для управления положением кабины лифтовой установки / А.С. Коваль, А.В. Шваяков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2008. – № 3. – С. 135–144.
6. Коваль, А.С. Электромеханическая система лифтов со скоростью до 2 м/с / А.С. Коваль, А.В. Шваяков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2009. – № 4. – С. 113–120.
7. Коваль, А.С. К вопросу синтеза регулятора скорости безредукторного ЭП лифта с учетом электромеханического взаимодействия / А.С. Коваль, А.В. Шваяков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 3. – С. 105–112.
8. Коваль, А.С. К вопросу электромеханического взаимодействия в лифтах с регулируемым приводом и нечетким регулятором / А.С. Коваль, А.В. Шваяков // Изв. вузов и энергет. об-ний СНГ. Энергетика. – 2010. – № 5. – С. 34–40.

Статьи в сборниках научных статей

9. Шваяков, А.В. Применение адаптивных нечетких регуляторов в автоматизированном электроприводе / А.В. Шваяков, Б.Б. Скарыно // Сборник научных работ студентов высших учебных заведений Республики Беларусь «НИРС 2003–2004»: науч. изд.: в 2 ч. / Респ. учеб.-метод. центр физ. воспитания населения ; редкол.: А.И. Жук (пред.) [и др.]. – Минск, 2005. – Ч. 1. – С. 159–160.

10. Шваяков, А.В. К вопросу фиксации частоты коммутации в системах с прямым управлением момента / А.В. Шваяков, А.С. Коваль // Сборник научных работ студентов высших учебных заведений Республики Беларусь «НИРС–2005»: науч. изд.: в 3 ч. / Респ. учеб.-метод. центр физ. воспитания населения ; редкол.: А.И. Жук (пред.) [и др.]. – Минск, 2006. – Ч. 3. – С. 118–119.

Статьи в сборниках научных трудов

11. Шваяков, А.В. К вопросу о применении нечетких регуляторов в системах управления ЭП / А.В. Шваяков // Информационные технологии, энергетика и экономика : сб. тр. I межрегион. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Смоленск, 8–9 апр. 2004 г. : в 2 т. / Моск. энергет. ин-т (техн. ун-т), Смол. фил. ; редкол.: А.Ф. Богатырев [и др.]. – Смоленск, 2004. – Т. 1. – С. 91–94.

12. Шваяков, А.В. Идентификация электромагнитных параметров асинхронного двигателя / А.В. Шваяков // Информационные технологии, энергетика и экономика : сб. тр. III межрегион. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Смоленск, 19–20 апр. 2006 г. : в 3 т. / Моск. энергет. ин-т (техн. ун-т), Смол. фил. ; редкол.: А.Ф. Богатырев [и др.]. – Смоленск, 2006. – Т. 1. – С. 65–70.

13. Шваяков, А.В. К вопросу построения упрощенной модели электропривода при ПУМ–ШИМ / А.В. Шваяков // Информационные технологии, энергетика и экономика : сб. тр. IV межрегион. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, 12–13 апр. 2007 г. : в 3 т. / Моск. энергет. ин-т (техн. ун-т), Смол. фил. ; редкол.: А.Ф. Богатырев [и др.]. – Смоленск, 2007. – Т. 1. – С. 160–164.

14. Шваяков, А.В. Синтез линейно-квадратичного регулятора электропривода лифтовой установки / А.В. Шваяков, А.С. Коваль // Информационные технологии, энергетика и экономика : сб. тр. V межрегион.

науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Смоленск, 10–11 апр. 2008 г. : в 3 т. / Моск. энергет. ин-т (техн. ун-т), Смол. фил. ; редкол.: Г.И. Бояринов [и др.]. – Смоленск, 2008. – Т. 2. – С. 67–72.

15. Шваяков, А.В. Нечеткий регулятор скорости редукторного электропривода лифта / А.В. Шваяков // Информационные технологии, энергетика и экономика : сб. тр. VI межрегион. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов, Смоленск, 10–11 апр. 2009 г. : в 3 т. / Моск. энергет. ин-т (техн. ун-т), Смол. фил. ; редкол.: Г.И. Бояринов [и др.]. – Смоленск, 2009. – Т. 2. – С. 83–88.

Материалы конференций

16. Шваяков, А.В. К вопросу определения электромагнитных параметров асинхронного двигателя / А.В. Шваяков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 20–21 апр. 2006 г. : в 3 ч. / НАН Беларуси, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2006. – Ч. 2. – С. 202.

17. Шваяков, А.В. Идентификация электромагнитных параметров асинхронного двигателя в регулируемом электроприводе / А.В. Шваяков // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 24–25 янв. 2007 г. / Федер. агентство по образованию, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2007. – С. 10–12.

18. Шваяков, А.В. К вопросу минимизации коммутационных потерь / А.В. Шваяков // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 24–25 янв. 2007 г. / Федер. агентство по образованию, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2007. – С. 125.

19. Шваяков, А.В. К вопросу упрощенного моделирования ЭП при ПУМ–ШИМ с НР / А.В. Шваяков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–20 апр. 2007 г. : в 3 ч. / НАН Беларуси, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2007. – Ч. 2. – С. 220–221.

20. Шваяков, А.В. К вопросу интеллектуализации регулятора скорости редукторного электропривода лифтовой установки / А.В. Шваяков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 17–18 апр. 2008 г. : в 3 ч. / НАН Беларуси, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2008. – Ч. 2. – С. 191.

21. Шваяков, А.В. К вопросу исследования переходных процессов в лифтах / А.В. Шваяков // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 20–21 нояб. 2008 г. / Федер. агентство по образованию, Белорус.-Рос. ун-т ; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2008. – С. 143.

22. Шваяков, А.В. Моделирование механической подсистемы лифта скоростью до 2 м/с лифтах / А.В. Шваяков // Наука – образованию, производству, экономике : материалы VII междунар. науч.-техн. конф., Минск, 14 апр. 2009 г. : в 3 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; [редкол.: Б.М. Хрусталева, Ф.А. Романюк, А.С. Калиниченко]. – Минск, 2009. – Т. 2. – С. 138.

Патент

23. Способ формирования сигнала задания для электропривода лифта : пат. 13120 С1 Респ. Беларусь, МПК (2009) В 66В 1/24, Н 02Р 3/18 / А.С. Коваль, А.В. Шваяков ; заявитель Белорус.-Рос. ун-т. – № а 20080741; заявл. 06.05.2008 ; опубл. 28.02.2010 // Афіц. бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 1. – С. 29.

Отчеты о НИР

24. Разработка базы знаний и программного комплекса нечеткого регулятора для систем автоматизированного электропривода : отчет о НИР / Белорус.-Рос. ун-т ; рук. А.С. Коваль. – Могилев, 2004. – 68 с. – № ГР 20043857.

25. Разработка алгоритма работы и программного обеспечения нечеткого регулятора для контура управления скоростью электропривода лифтовой установки : отчет о НИР / Белорус.-Рос. ун-т ; рук. А.С. Коваль. – Могилев, 2008. – 89 с. – № ГР 20081187.

РЭЗІЮМЭ

Шваякоў Андрэй Віктаравіч

Удасканаленне сістэмы кіравання рэдуктарным электрапрывадам галоўнага руху масавых ліфтаў

Ключавыя словы: рэгулёўны электрапрывод, ліфт, дыяграма руху.

Аб'ект даследвання – рэгулёўны электрапрывад галоўнага руху ліфтаў.

Прадмет даследвання – матэматычная мадэль рэгулёўнага электрапрывада галоўнага руху ліфта.

Мэта даследванняў – распрацоўка сістэмы кіравання рэдуктарным рэгулёўным электрапрывадам галоўнага руху масавых ліфтаў з хуткасцю руху да 2 м/с з палепшанымі дынамічнымі характарыстыкамі пры ўліку пругкіх і нелінейных уласцівасцяў механічнай часткі.

Вынікамі працы з'яўляюцца:

– праграмнае забеспячэнне на мове "Сі" для рэалізацыі алгарытму кіравання пры прамым кіраванні момантам;

– макет прылады для вымярэння лінейных паскарэнняў, які дазваляе запісаць пераходныя працэсы паскарэння ў ліфтах;

– макет рэгулятара хуткасці, што функцыянуе на аснове алгарытмаў невыразнай логікі, для контуру кіравання хуткасцю рэдуктарнага электрапрывада ліфта;

– макет прылады, прызначанай для фармавання сігнала задання хуткасцю з улікам чашчынных уласцівасцяў электрамеханічнай сістэмы ліфта;

Вынікі працы выкарыстоўваюцца РУП завод "МОГИЛЕВЛИФТМАШ", ААТ "МОГИЛЕВЛИФТ", ОДА "СТРИМ", а таксама ў навучальным працэсе кафедры «Электрапрывад і аўтаматызацыя прамысловых усталёвак» ДУ ВПА «Беларуска-Расійскі ўніверсітэт».

Галіна выкарыстання вынікаў дысертацыі – прадпрыемствы і арганізацыі, якія займаюцца праектаваннем, вытворчасцю і эксплуатацыяй ліфтаў з рэгулёўным электрапрывадам.

РЕЗЮМЕ

Шваяков Андрей Викторович

Совершенствование системы управления редукторным электроприводом
главного движения массовых лифтов

Ключевые слова: регулируемый электропривод, лифт, диаграмма движения.

Объект исследования – регулируемый электропривод главного движения лифтов.

Предмет исследования – математическая модель регулируемого электропривода главного движения лифта.

Цель исследования – разработка системы управления редукторным регулируемым электроприводом главного движения массовых лифтов со скоростью движения до 2 м/с с улучшенными динамическими характеристиками при учете упругих и нелинейных свойств механической части.

Результатами работы являются:

- программное обеспечение на языке «Си» для реализации алгоритма управления при прямом управлении моментом;
- макет устройства для измерения линейных ускорений, позволяющий записать переходные процессы ускорения в лифтах;
- макет регулятора скорости, функционирующего на основе алгоритмов нечеткой логики, для контура управления скоростью редукторного электропривода лифта;
- макет устройства, предназначенного для формирования сигнала задания скоростью с учетом частотных свойств электромеханической системы лифта;

Результаты работы используются РУП завод «МОГИЛЕВЛИФТМАШ», ОАО «МОГИЛЕВЛИФТ», ОДО «СТРИМ», а также в учебном процессе кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет».

Область применения результатов диссертации – предприятия и организации, занимающиеся проектированием, производством и эксплуатацией лифтов с регулируемым электроприводом.

RESUME

Shvayakou Andrei Victorovich

Control system perfection of geared adjustable electric drive
of the main movement of mass elevators

Key words: adjustable electric drive, elevator, motion diagram.

The object of the research – controlled-velocity electric drive of a main motion of elevators

The subject of the research – mathematical model of the controlled-velocity electric drive of a main motion of the elevator

The objective of the research – Control system design of the geared controlled-velocity electric drive of a main motion of mass elevators with speed of driving to 2 m/s with the improved dynamic characteristics at the account of elastic and nonlinear properties of a mechanical part.

Result of the work are:

- «C» language software for control algorithm implementation of direct torque control;
- device for measurement of the linear accelerations, allowing to record acceleration transients in elevators;
- speed governor operating on the basis of the fuzzy logic, for speed control loop of geared electric drive of the elevator;
- device for speed signal generating taking into account frequent properties of elevator electromechanical system.

Result of the work are used RYP factory «MOGILEVLIFTMACH», "MOGILEVLIFT", «STRIM», and also in educational process of chair «Electric drive and automation of plants» «Belarus-Russian university».

Application area of the dissertation results – factories and architectures, occupied in projection, manufacture and maintenance of elevators with the controlled-velocity electric drive.