

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

Полілов Єгор Володимирович

УДК 62-83:621.771.23.002-83

**СИНТЕЗ СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЛЕЙНОГО КЕРУВАННЯ
ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ НАМОТУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ**

Спеціальність 05.09.03 - електротехнічні комплекси та системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Донбаському гірничо-металургійному інституті Міністерства освіти і науки України, Алчевськ.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
Зеленов Анатолій Борисович,
Донбаський гірничо-металургійний інститут,
професор кафедри автоматизованих електромеханічних систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кузнецов Борис Іванович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”,
професор кафедри колісних і гусеничних машин

кандидат технічних наук
Буряковський Сергій Геннадійович,
Українська державна академія залізничного транспорту,
доцент кафедри систем електричної тяги

Провідна установа - **Національний гірничий університет**,
кафедра електроприводу
Міністерства освіти і науки України, м. Дніпропетровськ

Захист відбудеться “ 21 ” жовтня 2004 р. о 16³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.04 в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м.Харків, вул.Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий “ 21 ” вересня 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Осічев О.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. З розвитком рулонного способу виробництва і обробки сталевих смуг, а також у зв'язку зі створенням ливарно-прокатних агрегатів, розмотувачі, моталки і накопичувачі смуг здобувають значення основних технологічних пристроїв, значною мірою визначальних, а найчастіше і обмежуючих можливості технологічного процесу. Досконалість режимів намотування смуги значною мірою визначає не тільки експлуатаційні, техніко-економічні показники всієї технологічної лінії, але і впливає на якість випускає продукції, (відсутність хвилі, коробоватості, рифлення), що особливо важливо для станів по виробництву і обробці тонкої та найтоншої холоднокатаної смуги. Крім того, натяг впливає на ступінь браку, викликаного деформацією рулонів як у процесі намотування (телескопічність, зварювання витків), так і розпушування після знімання рулону з барабана.

Режими намотування і розмотування можна вважати оптимальними, якщо вони забезпечують сприятливий з погляду якості поверхні і продуктивності агрегатів характер напруженого стану в рулоні, а також необхідну стійкість на всіх стадіях технологічного процесу. Під поняттям стійкості рулонів мається на увазі їхня здатність до збереження вихідної циліндричної форми. Варто розрізняти наступні основні види втрати стійкості рулонів: випучування внутрішніх витків; еліпсоїдність рулону, що утвориться під дією власної маси («просідання»); аксіальне зрушення витків відносно один одного, що призводить до телескопічності рулонів.

Напруги, що виникають у рулонах холоднокатаної смуги після зняття їх з моталки, істотно впливають на якість листової продукції, оскільки вони можуть спричинити втрату стійкості внутрішніх витків та утворення дефекту типу витріщання внутрішніх витків, «телескопічність», «просідання» і призводити до зварювання контактуючих витків смуги при наступній термічній обробці металу і утворенню дефектів «злам» та «зварювання». Збільшення маси рулонів до 45-60 т і зменшення товщини смуги на сучасних станах холодної прокатки підвищують імовірність появи цих дефектів. Таким чином, реалізація необхідних режимів намотування (величини і характеру зміни натягу) смуг у рулони вирішальним образом визначає ефективність виробництва і якість холоднокатаної продукції.

Побудова алгоритмів керування електроприводами намотувальних пристроїв пов'язана з розв'язанням досить складного завдання синтезу, що має два аспекти: забезпечення заданих статичних і динамічних властивостей синтезованої САР та підтримку цих властивостей в умовах дії різних впливів, що збурюють, змін параметрів керованого об'єкта, наявності нелінійностей і, як правило, неповної апріорної інформації про об'єкт керування умовах його функціонування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана згідно з науковою тематикою кафедри АЕМС ДГМІ «Розробка систем оптимального релейного керування електроприводами постійного струму» у відповідності з науковим напрямком (07) «Перспективні інформаційні технології, пристрої комплексної автоматизації, системи зв'язку» за загальним планом комплексної проблеми «Наукові основи електроенергетики», затвердженому НАН України (протокол № 8 від 16.09.85 р., розділ 1.9.2.5.2.4.12 «Розробка теорії синтезу і оптимізації мікропроцесорних систем автоматичного керування вентилями електроприводами постійного та змін-

ного струму з поліпшеними динамічними та статичними характеристиками»). Окремі розробки, технічні рішення і методики, а також запропоновані здобувачем алгоритми та структури релейних систем керування, рекомендації щодо їхнього вибору використовувалися при виконанні держбюджетних НДР відповідно плану прикладних робіт МОН України: «Наукові основи побудови релейних систем керування для нелінійних електромеханічних об'єктів» (ДР № 0101U003564); «Розвиток теорії побудови систем оптимального релейного керування багатомасовим електроприводом зі змінним моментом інерції» (ДР № 0103U002535), в яких здобувач є виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Мета дисертації – розробка ефективних алгоритмів і структур релейних систем автоматичного регулювання натягу (САРН) смуги, намотуваної в процесі прокатки на безперервному стані холодної прокатки (БСХП) з організацією ковзних режимів і забезпечуючих високу точність стабілізації натягу смуги (мінімізація статичної і динамічної помилок) у всіх режимах роботи стана, а також квазіінваріантність до координатних і параметричних збурювань.

Задачі дослідження відповідно до мети роботи полягають у наступному:

- для ЕП моталки без урахування пружності кінематичних ланок механізму синтезувати релейні системи автоматичного регулювання натягу смуги прямої і опосередкованої дії (САРН-П і САРН-О) методами релейного модального керування та аналітичного конструювання регуляторів (АКР) у різних фазових просторах з метою доказу можливості застосування алгоритмів для стабілізації натягу намотуваної смуги на заданому рівні, а також забезпечення необхідного ступеня чутливості до параметричних і координатних збурювань;

- синтезувати аналогічні релейні САРН-П і САРН-О з урахуванням пружності кінематичних ланок електропривода моталки.

- розглянути можливість введення в алгоритм керування інтегральних зв'язків у релейних САРН-П і САРН-О з метою додання синтезованим системам необхідних порядків астатизму по керуючому впливу та впливам, що збурюють, для підвищення точності стабілізації натягу;

- дослідити можливість використання релейних асимптотичних спостерігачів стану (СС) при роботі релейних САРН для відновлення змінних стану, по яких необхідно організувати зворотні зв'язки і які не можуть бути безпосередньо вимірювані (наприклад, пружного моменту);

- на підставі виконаних досліджень запропонувати нові структурні схеми релейних САРН смуги ЕП моталок;

- провести аналіз роботи синтезованих релейних САРН за допомогою цифрового моделювання на математичних моделях;

- провести на фізичній моделі об'єкта експериментальну перевірку основних теоретичних висновків і результатів математичного моделювання з метою підтвердження їхньої адекватності.

Об'єкт дослідження – динамічні та статичні властивості релейних систем стабілізації та автоматичного регулювання натягу смуги, намотуваної в процесі прокатки на БСХП.

Предмет дослідження – релейна САР електроприводів намотувальних пристроїв, що працює в умовах змінності параметрів процесу прокатки, наявності параметричних збурювань і різного роду пружних зв'язків.

Методи дослідження. При розв'язанні поставлених завдань використовувалася концепція

зворотних задач динаміки (ЗЗД) керованих систем (метод релейного модального керування), методи теорії систем, стійких необмеженому збільшенні коефіцієнта підсилення, основні положення теорії оптимального керування, поняття стійкості по Ляпунову, матричне і операційне числення, методи математичного моделювання і чисельного розв'язання систем диференціальних рівнянь. Розрахунок коефіцієнтів зворотних зв'язків алгоритмів керування, як у символічному, так і у чисельному виді проводився на ЕОМ з використанням програмних систем комп'ютерної математики MathCAD і Maple. Експериментальна перевірка основних теоретичних положень і результатів виконувалася з використанням чисельного моделювання шляхом застосування пакетів розширення системи Matlab і лабораторно-стендових випробувань.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- стосовно до ЕП моталок вперше показана можливість використання релейних систем керування для стабілізації натягу намотуваної смуги. Методами ЗЗД та АКР синтезовані релейні САРН-О і САРН-П, що дозволяють із високою точністю стабілізувати натяг смуги, що прокочується на БСХП. При цьому поряд зі стабілізацією натягу смуги забезпечується одержання необхідних статичних і динамічних показників якості системи при забезпеченні низької чутливості електромеханічної системи до координатних і параметричних збурювань;

- показано, що використання релейних систем керування з організацією ковзних режимів роботи дозволяє з однаковим успіхом стабілізувати натяг намотуваної смуги як без урахування пружності кінематичних ланок механічної частини моталок в алгоритмах керування, так і з її урахуванням у випадку представлення ЕП моталки одномасовим і двомасовим об'єктом відповідно;

- встановлено, що для стабілізації натягу намотуваної смуги можливе застосування релейних алгоритмів керування, синтезованих у різних фазових просторах методом релейного модального керування;

- доведено, що для забезпечення інваріантності САРН-П щодо зміни швидкості смуги, необхідно забезпечити астатизм системи не нижче другого порядку по впливу, що збурює. У цьому випадку відпадає необхідність використання вузлів компенсації динамічного струму. Зазначеною властивістю володіють: САРН-П, синтезована у фазовому просторі вихідних координат із введенням подвійного інтегрального зв'язку по регульованій координаті; САРН-П, синтезована у фазовому просторі канонічних координат із введенням інтегрального зв'язку по регульованій координаті; САРН-П з керуванням по виходу і першій похідній вектора стану із введенням інтегрального зв'язку;

- використання ковзних режимів у САРН-О, синтезованих у різних фазових просторах дозволяє отримати високу точність стабілізації натягу смуги без застосування досить коштовних датчиків натягу. Основним недоліком синтезованих САРН-О є значна коливальність вихідної координати при переході з однієї величини натягу на іншу. Крім того, для виключення впливу роботи стану на величину натягу смуги, всі синтезовані САРН-О варто доповнити вузлами компенсації динамічного струму. У цьому випадку точність стабілізації натягу в першу чергу буде залежати від досконалості алгоритму побудови пристроїв, що компенсують, і стабільності параметрів їхньої елементної бази.

Практичне значення одержаних результатів. Синтезовані алгоритми і структури релей-

них САРН-О і САРН-П, рекомендації з їхнього вибору, технічні рішення можуть бути використані при проектуванні ЕП моталок БСХП. Розроблені автором програмні додатки з використанням систем комп'ютерної математики MathCAD і Maple дозволяють розраховувати чисельні значення коефіцієнтів зворотних зв'язків пропонуваніх релейних алгоритмів керування у всіх фазових просторах для систем будь-якого порядку. Результати дисертаційної роботи передані для впровадження і використання на ВАТ «АМК» (Алчевський металургійний комбінат).

Основні теоретичні положення, наведені в дисертації, використовуються в науково-дослідних роботах і навчальному процесі Донбаського гірничо-металургійного інституту при курсовому та дипломному проектуванні спеціальності 7.092203 «Електромеханічні системи автоматизації і електропривод».

Особистий внесок здобувача. У розробці нових наукових результатів, винесених на захист, автором особисто зроблено:

- запропоновано використання релейних систем керування, що дозволяють із високою точністю стабілізувати натяг намотуваної смуги. При цьому поряд зі стабілізацією натягу смуги забезпечується одержання необхідних статичних і динамічних показників якості системи при забезпеченні малої чутливості електромеханічної системи до координатних і параметричних збурювань;

- синтезовані всі релейні САРН-П і САРН-О смуги як без урахування пружності кінематичних ланок механічної частини моталок в алгоритмах керування, так і з її урахуванням у випадку представлення ЕП моталки одномасовим і двомасовим об'єктом відповідно, отримані аналітичні залежності для всіх коефіцієнтів зворотних зв'язків релейних регуляторів натягу смуги і релейного асимптотичного СС електромеханічного об'єкта;

- доведено, що для забезпечення інваріантності САРН-П щодо зміни швидкості смуги, необхідно забезпечити астатизм системи не нижче другого порядку по впливу, що збурює, що може бути досягнуто введенням інтегральних зв'язків по основній регульованій координаті;

- розроблені програмні додатки з використанням систем комп'ютерної математики MathCAD і Maple, що дозволяють методами релейного модального керування, ЗЗД і АКР розраховувати чисельні значення коефіцієнтів зворотних зв'язків пропонуваніх релейних алгоритмів керування у всіх фазових просторах для систем будь-якого порядку;

- проведене математичне моделювання на ЕОМ і експериментальні дослідження на створеному здобувачем лабораторному стенді.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися на міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика» (м. Алушта, 2002 – 2003 р.), «Електромеханічні системи, методи моделювання і оптимізації» (м. Кременчук, 2003 р.), науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу науковців і аспірантів ДГМІ (м. Алчевськ, 2001 – 2004 р.), на наукових семінарах Національної Академії наук України «Динаміка автоматизованих електромеханічних систем» (м. Алчевськ, 2003 – 2004 р.).

Публікації. Основні положення і результати досліджень викладено і опубліковано у 9 друкованих працях, 3 опубліковані без співавторів, 1 – у науковому журналі, 8 – у збірниках науко-

вих праць.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 5 розділів, висновків і 5 додатків. Повний обсяг дисертації складає 293 сторінки, з них 63 ілюстрації на 58 сторінках, 18 ілюстрацій в тексті; 6 таблиць на 7 сторінках; 5 додатків на 65 сторінках, 132 найменування використаних літературних джерел на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі подано загальну характеристику роботи, сформульовані мета та задачі досліджень і розробок. Показана актуальність роботи, визначено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

В першому розділі розглянуто вплив натягу на товщину прокочуваної смуги, досліджено вибір закону зміни натягу по ходу намотки рулонів, проведено аналіз існуючих принципів і способів побудови систем регулювання моталок і розмотувачів, зроблено аналітичний огляд основних методів побудови автоматичних систем, що забезпечують компенсацію власних рухів об'єкта керування за умов наявності широкого спектру параметричних і координатних збурень. Описано методи синтезу релейних САР з ковзними режимами, стійких при необмеженому збільшенні коефіцієнтів підсилення регуляторів, що були розроблені проф. Зеленовим А.Б., проф. Мотченко О.І., проф. Садовим О.В. Визначено мету і задачі досліджень. Показано необхідність реалізації необмеженого коефіцієнту підсилення регулятора для досягнення інваріантності САРН до дестабілізуючих факторів.

В другому розділі розглянуто математичний опис нелінійної і нестационарної динамічної системи моталка - пружнодеформована смуга - кліть (МСК), при цьому в моделі враховано пружні властивості вала, що з'єднує двигун і механізм моталки (пружність першого роду), і натягнутої смуги, намотуваної на моталку (пружність другого роду).

Математичний опис ЕП моталки БСХП, представленої одномасовою електромеханічною системою з живленням приводного електродвигуна постійного струму від джерела регульованої напруги (наприклад, тиристорного перетворювача) детально розглянуто у статті [2]. Математична модель об'єкта керування без враховуються пружні властивості вала, що з'єднує двигун і механізм моталки представлена автономною системою лінійних диференціальних рівнянь у формі Коші в матричному поданні:

$$p\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{y} + \mathbf{b}u, \quad y_i = \mathbf{e}_i^T \mathbf{y}, \quad (1)$$

де $\mathbf{y} = [y_1 \quad y_2 \quad y_3 \quad y_4]^T = [\Delta T_{i+1,m} \quad \Delta \omega_{d,m} \quad \Delta i_{я,m} \quad \Delta e_{mn,m}]^T$ - вектор координат стану системи;

$\mathbf{A} = [a_{ij}]_{n,n}$ - матриця системи розмірністю 4×4 ;

$\mathbf{b} = [0 \quad 0 \quad 0 \quad b_4]^T$ - вектор-стовпець коефіцієнтів керування.

У випадку урахування пружні властивості вала, що з'єднує двигун і механізм моталки, математичний опис об'єкта керування представлено автономною системою лінійних диференціаль-

них рівнянь (1) у формі Коші в матричному поданні, де $\mathbf{y} = [\Delta T_{i+1,m} \Delta \omega_{2,m} \Delta M_{12,m} \Delta \omega_{1,m} \Delta i_{я,m} \Delta e_{тп,m}]^T$; $\mathbf{A} = [a_{ij}]_{6,6}$; $\mathbf{b} = [0 \ 0 \ \dots \ b_6]^T$.

Здобуто деталізовану структурну схему та математичну модель нелінійної і нестационарної динамічної системи МСК із урахуванням зазору і нелінійної залежності тертя від швидкості.

Використовуючи засоби пакета Control System Toolbox системи Matlab, одержано діаграми логарифмічних амплітудно-частотних характеристик (ЛАЧХ) одномасової системи МСК при різній товщині смуги (0,28 мм і 0,6 мм) для двох граничних значень моменту інерції рулону ($J_{нач}, J_{кон}$) і радіуса рулону ($R_{нач}, R_{кон}$). Відповідні ЛАЧХ електромеханічної частини ОК представлені на рис.1. Звідки слідує, що резонанси механізму при різній товщині смуги, що (0,28 мм і 0,6 мм) розташовані на частотах: $\omega_1 = 18,3 \text{ c}^{-1}$, $\omega_2 = 33,3 \text{ c}^{-1}$ і $\omega_1 = 26,7 \text{ c}^{-1}$, $\omega_2 = 48,4 \text{ c}^{-1}$ відповідно.

Рис. 1. ЛАЧХ електромеханічної частини об'єкта $L(\omega) = |T(j\omega)/U_y(j\omega)|$
при граничних значеннях моменту інерції і радіуса рулону
для двох значень товщини металу $h_1 = 0,28 \text{ мм}$; $h_2 = 0,6 \text{ мм}$

Для підтвердження адекватності отриманих результатів, а також з'ясування причин появи резонансного піка ЛАЧХ визначено закон зміни натягу по керуючому та збурюючому впливах. Отримані вираження відповідають коливальній ланці другого порядку, отже, при керуючому впливі з боку моменту двигуна моталки перехідний процес натягу характеризується коливальністю із частотою і логарифмічним декрементом загасання коливань:

$$\Omega = R_{рул} \sqrt{\frac{EQ}{J_{\Sigma}' \left(\frac{R_{рул}}{\mu} + L \right)}}; \xi = \frac{\pi V_{мп}}{EQR_{рул}} \sqrt{\frac{EQJ_{\Sigma}'}{\frac{R_{рул}}{\mu} + L}}. \quad (2)$$

Таким чином, зроблений аналіз зміни натягу, як по керуючому, так і при збурюючому впливах показав, що перехідні процеси натягу в розімкнутій одномасовій системі, а також в одномасових системах регулювання опосередкованої дії (як буде показано далі) носять явно виражений коливальний характер.

Також досліджено характеристики динамічної системи МСК із урахуванням пружності кінематичних ланок механічної частини ЕП моталки. Показано, що крім резонансу, обумовленого наявністю пружнодеформованої смуги, що прокочується на ділянці між останньою кліттю і моталкою, ЛАЧХ МСК містить також резонанс і антирезонанс власне механічної частини ЕП моталки.

В **третьому розділі** для ЕП моталки, представлені одномоваю електромеханічною системою були синтезовані релейні САРН-П і САРН-О методами ЗЗД і АКР в різних фазових просторах. Для зменшення статичної та динамічної похибки синтезованих САРН запропоновано введення інтегральних зв'язків в релейні алгоритми керування.

У результаті структурно-алгоритмічних перетворень, стосовно до релейного САРН-П методом релейного модального керування отриманий алгоритм регулятора натягу смуги у фазовому просторі основних регульованих координат ЕП моталки:

$$U = -\text{sign}[\delta^T \eta]. \quad (3)$$

Коефіцієнти зворотних зв'язків в алгоритмі керування (3), виражені в аналітичній формі через параметри об'єкта керування і коефіцієнти бажаного характеристичного полінома мають наступний вигляд:

– з введенням інтегрального зв'язку

– з введенням подвійного інтегрального зв'язку

Вектор **k** відповідно до методу релейного модального керування може бути знайдений шляхом прирівнювання характеристичного рівняння замкнутої системи, довизначеної відповідно до методики Ю.В. Долголенко, бажаному характеристичному поліному того ж порядку, що відповідає одному зі стандартних розподілів коренів. Слід зазначити, що довизначення релейної системи відповідно до методики Ю.В. Долголенко знижує порядок вихідної системи на одиницю.

На рис.2 представлені результати моделювання, у якому здійснювалася стабілізація натягу смуги за допомогою синтезованої релейної САРН-П. Бажаний рух систем заданий у вигляді поліномів четвертого і п'ятого ступеня, що відповідають стандартному розподілу Батерворта. Середньгеометричний корінь прийнятий рівним 200 рад/сек.

Релейна САРН-П, синтезована у фазовому просторі вихідних координат із введенням у систему інтеграла регульованої координати в ковзному режимі має астатизм другого порядку по заданню і астатизмом першого порядку по впливах, що збурюють, що сприяє виключенню статичної помилки при стабілізації натягу смуги. Однак це не дозволяє стабілізувати натяг смуги на заданому рівні в динамічних режимах роботи БСХП (рис.2, а, б). Поява змін натягу смуги під час розгону і гальмування стану викликана наявністю динамічної помилки в системі. Для забезпечення інваріантності натягу щодо зміни швидкості смуги, необхідно на одиницю підвищити порядок астатизму системи, наприклад, введенням ще одного інтегрального зв'язку.

На рис.3 представлені результати моделювання, у якому здійснювалася стабілізація натягу смуги за допомогою синтезованої релейної САРН-П. З отриманих

Рис. 3. Графіки перехідних процесів у релейної САРН-П, синтезованої у фазовому просторі канонічних координат $(T; pT; p^2T; p^3T)$

графіків видно, що при зміні швидкості приводів суміжної кліті і моталки з'являється невелика помилка регулювання натягу смуги $\Delta T \approx 0,35 \text{ кН}$ (1,4 % від заданого натягу), що залежить від величини швидкості намотування. Очевидно, для її усунення необхідно доповнити синтезовану САРН-П інтегральним зв'язком по основній регульованій координаті, тим самим, підвищивши порядок астатизму системи по впливу, що збурює.

У результаті структурно-алгоритмічних перетворень, стосовно до релейного САРН-П, методом релейного модального керування отриманий алгоритм управління регулятора натягу смуги у фазовому просторі канонічних координат ЕП моталки з інтегральним зв'язком:

$$u^* = -\text{sign} \left[(y_1 - y_1^*) \bar{m}_1 \mathbf{k}^T \mathbf{p} \right], \quad (5)$$

де $\mathbf{k}^T = [k_1 \quad k_2 \quad k_3 \quad k_4 \quad k_5]$ - вектор бажаних коефіцієнтів характеристичного полінома замкнутого контуру.

Результати моделювання, у якому здійснювалася стабілізація натягу смуги за допомогою синтезованої релейної САРН-П, аналогічні отриманим раніше (рис.2, б).

Таким чином, синтезована методом релейного модального керування у фазовому просторі канонічних координат із введенням інтегрального зв'язку релейна САРН-П, забезпечує: високі показники якості перехідних процесів; високу точність стабілізації натягу смуги на заданому рівні у всіх режимах роботи стана; квазіінваріантність до координатних і параметричних збурювань.

Незважаючи на значні переваги, синтез релейної САРН-П у фазовому просторі канонічних координат має певні недоліки - низькою завадостійкістю і труднощами фізичної реалізації через складність одержання «чистих» похідних. В умовах допус тимості однократного диференціювання сигналів зворотних зв'язків розумною альтернативою синтезу САРН-П у канонічному просторі може бути побудова релейної системи регулювання, замкнутої по виходу і першій похідній вектора стану.

Алгоритм керування регулятора натягу смуги релейної САРН-П у фазовому просторі головної координати, її першій похідній і похідних допоміжних координат має вигляд:

$$U(\mathbf{y}) = -\text{sign} \left(k_1 \mathbf{e}_1^T \mathbf{M}^{-1} \boldsymbol{\eta}_1 + p \bar{\mathbf{k}}^T \mathbf{M}^{-1} \boldsymbol{\eta} \right) = -\text{sign} \left(\beta_0 \eta_1 + p \boldsymbol{\beta} \boldsymbol{\eta} \right), \quad (6)$$

де $\boldsymbol{\beta} = \bar{\mathbf{k}}^T \mathbf{M}^{-1}$ - вектор коефіцієнтів зворотних зв'язків:

Релейна САРН-П, синтезована у фазовому просторі головної координати, її першій похідній і похідних допоміжних координат має астатизм першого порядку як по завданню, так і по впливах, що збурюють. Цього досить для усунення помилки регулювання натягу смуги в статичному режимі намотування смуги. Для підвищення порядку астатизму САРН-П, необхідного для усунення динамічних помилок при стабілізації натягу смуги у всіх режимах роботи БСХП, синтезовано релейну САРН-П у фазовому просторі головної координати, її першій похідній і похідних допоміжних координат із введенням інтегрального зв'язку по регульованій координаті.

Алгоритм керування регулятора натягу смуги релейної САРН-П у фазовому просторі головної координати, її першій похідній і похідних допоміжних координат із введенням інтегрального зв'язку по регульованій координаті представлено у вигляді:

$$U(\mathbf{y}) = -\text{sign}\left(k_1 \mathbf{e}_1^T \mathbf{M}^{-1} \boldsymbol{\eta}_1 + p \bar{\mathbf{k}}^T \mathbf{M}^{-1} \boldsymbol{\eta}\right) = -\text{sign}\left(\beta_0 \eta_1 + p \boldsymbol{\beta} \boldsymbol{\eta}\right), \quad (7)$$

де $\boldsymbol{\beta} = \bar{\mathbf{k}}^T \mathbf{M}^{-1}$ - вектор коефіцієнтів зворотних зв'язків:

Результати моделювання, у якому здійснювалася стабілізація натягу смуги за допомогою синтезованих релейних САРН-П мають вигляд практично співпадаючий із результатами, отриманими раніше (рис. 2). Результати цифрового математичного моделювання підтверджують необхідність використання пристроїв динамічної компенсації в САРН-П з керуванням по виходу і першій похідній вектора стану, або подальшого підвищення порядку астатизму системи по впливах, що збурюють, необхідних для підвищення точності стабілізації натягу смуги в динамічних режимах роботи БСХП. На відміну від значного ускладнення системи у випадку використання вузлів компенсації динамічного струму ЕП моталки, доцільніше доповнити розглянуту САРН-П інтегральним зв'язком по вихідній координаті.

Слід зазначити, що всі синтезовані раніше САРН-П по своїй суті є слідкуючими системами, як по завданню (спостереження за пакетом траєкторій завдання, що визначає характер зміни натягу смуги), так і по збурюючому впливу (спостереження за швидкістю валкової системи останньої кліті, що визначає характер зміни і величину лінійної швидкості моталки). Відмінною рисою систем є незалежність виду впливу, що задає, від характеру зміни швидкості валкової системи кліті.

Аналіз існуючих способів побудови систем регулювання натягу непрямої дії, проведений в першому розділі, показує, що незалежно від вибору структури САРН-О основним контуром у системі є внутрішній контур стабілізації струму якоря двигуна моталки, оскільки саме величина струму визначає заданий натяг смуги. Розглянуто задачу синтезу релейного регулятора струму ЕП моталки. При цьому, синтез, за аналогією з попередніми підрозділами був здійснений одночасно для двох випадків побудови САРН-О: 1) без введення додаткових зв'язків; 2) система додатково містить величину, пропорційну інтегралу помилки регульованої координати (якірного струму дви-

гуна моталки).

У результаті структурно-алгоритмічних перетворень стосовно до розглянутих релейних САРН-О методом релейного модального керування отримані алгоритми керування релейних регуляторів струму у фазовому просторі основних регульованих координат ЕП моталки:

$$u^* = -\text{sign} \left[\delta^T y - \bar{m}_{11} y_1^* \mathbf{k}^T \mathbf{p} \right]. \quad (8)$$

Коефіцієнти зворотних зв'язків в алгоритмі керування (8) виражено в аналітичній формі через параметри об'єкта керування і коефіцієнтів бажаного полінома:

На рис.4 представлені результати моделювання, у якому здійснювалася стабілізація натягу смуги за допомогою синтезованих релейних САРН-К. Бажаний рух систем заданий у вигляді поліномів першого, другого і третього ступенів, що відповідають розподілу Батерворта. Середньгеометричний корінь прийнятий рівним 400 рад/сек. Отримані графіки перехідних процесів у системах стабілізації натягу смуги непрямої дії дозволяють говорити про те, що релейна САРН-О, синтезована у фазовому просторі вихідних координат $(I_d; E_{mn})$ за винятком режиму створення натягу спокою є непрацездатною навіть у випадку застосування пристроїв динамічної компенсації, оскільки, величина натягу при роботі стана негативна, що викликано статичною помилкою регулювання.

Підвищення порядку астатизму САРН-О за допомогою введення в систему інтеграла регульованої координати дозволяє стабілізувати натяг намотуваної смуги на заданому рівні у всіх режимах роботи БСХП за винятком розгону і гальмування стана (рис.4, а, б). Очевидно, що для виключення просідань натягу в динамічних режимах роботи стана синтезовану САРН-О необхідно доповнити пристроєм динамічної компенсації. Відповідні графіки представлені на рис.4, в.

Основним недоліком синтезованих САРН-О є значна коливальність вихідної координати при переході з однієї величини натягу на іншу, основні причини появи якої показані в другому розділі (частота і декремент загасання коливань у точності відповідають отриманим вираженням (2)). Крім того, для виключення впливу роботи стана на величину натягу смуги, всі синтезовані САРН-О варто доповнити вузлом

а)

б)

в)

Рис. 4. Графіки перехідних процесів у релейній САРН-О, синтезованої у фазовому просторі вихідних координат а), б) з введенням у систему інтеграла $\int I_d dt$; I_d ; E_{mn} ;

в) також з динамічною компенсацією

компенсації динамічного струму. У цьому випадку точність стабілізації натягу в першу чергу буде залежати від досконалості алгоритму побудови компенсуючих пристроїв і стабільності параметрів їхньої елементної бази.

У **четвертому розділі** для ЕП моталки, представленого двомасовою електромеханічною системою за аналогією з попереднім розділом були синтезовані релейні САРН-П і САРН-О методами ЗЗД в різних фазових просторах [5-7, 9]. Для зменшення статичної та динамічної похибки синтезованих САРН запропоновано введення інтегральних зв'язків в релейні алгоритми керування.

Для оцінювання зворотного зв'язку за пружним моментом був синтезований релейний асимптотичний СС [8]. При синтезі СС у якості базового використано алгоритм спостереження у вигляді знакової функції від лінійної комбінації координат об'єкта в канонічному просторі збуреного руху:

$$U(\mathbf{x}) = -\text{sign}(\mathbf{k}^T \mathbf{x}), \quad (9)$$

де $\mathbf{k}^T = [k_1 \quad k_2 \quad \dots \quad k_n]$ - вектор коефіцієнтів релейного СС.

Слід зазначити, що вектор \mathbf{x} являє собою вектор координат збуреного руху канонічної системи і може бути представлений добутком векторного оператора диференціювання $\mathbf{p} = [1 \quad p \quad \dots \quad p^{n-1}]$ на виділене нев'язання СС.

У випадку неможливості багаторазового диференціювання сигналу нев'язання, внаслідок його зашумленості, або при побудові СС високого порядку, пропонується використати наступний алгоритм спостереження:

$$\mathbf{u}(\mathbf{y}) = -\delta \text{sign}(\mathbf{e}_i^T \boldsymbol{\eta}), \quad (10)$$

де $\boldsymbol{\delta} = \mathbf{P}^{-1} \mathbf{k}$ - вектор коефіцієнтів зворотних зв'язків; \mathbf{P} - матриця перетворення до сполученої канонічної форми фазової змінної, котра може бути визначена на основі матриці спостережності $\mathbf{R}_n = \left[\mathbf{c}^T \mid \mathbf{A}^T \mathbf{c}^T \mid \dots \mid (\mathbf{A}^T)^{n-1} \mathbf{c}^T \right]$ і коефіцієнтів характеристичного полінома $\det[p\mathbf{E} - \mathbf{A}]$.

Вектор \mathbf{k} за аналогією з методами релейного модального керування може бути знайдений шляхом прирівнювання характеристичного рівняння замкнутої системи відновлюваної частини, довизначеної відповідно до методики Ю.В. Долголенко, бажаному характеристичному поліному того ж порядку, що відповідає одному зі стандартних розподілів коренів.

Показано, що для ЕП моталки, представленого двомасовою електромеханічною системою з урахуванням пружності кінематичних ланок синтезовані релейні СС, що забезпечують високу точність спостереження невимірюваних координат системи. Подальше збільшення точності спостереження за невимірюваними змінними може бути досягнуто введенням більш ніж одного нев'язання в релейний СС, або синтезом СС в інших фазових просторах.

У **п'ятому розділі** для підтвердження адекватності раніше одержаних результатів математичного моделювання реальним фізичним процесам була створена лабораторна установка і проведено експериментальні дослідження [3, 4].

Складність імітації росту радіуса рулону, моменту інерції механізму, а тим більше натягу смуги між останньою кліткою і моталкою в ході експерименту на механічному рівні (по суті, що вимагають створення макета прокатного стана) успішно вирішена застосуванням програмно-апаратних засобів, тобто програмною імітацією технологічного процесу. При практичній реалізації лабораторного макета псевдо-механічна частина ЕП моталки представлена як двомасова з урахуванням жорсткості складових його механічних елементів. Двохкоординатний транзисторний перетворювач, приводний двигун, що є першою масою і навантажувальною машиною – реалізовані апаратно (в «реальному залізі»). Друга маса – власне барабан моталки з намотуваною смугою і електропривод суміжної з моталкою клітки реалізовані програмно з видачею керуючого сигналу ΔM_c^* в навантажувальну машину для створення моменту статичного опору на валу, що відповідає зімітованому натягу і вигину смуги, а також моменту пружної деформації.

Дається опис установки, наведені функціональні схеми всіх її основних блоків. Як головний керівний пристрій для формування сигналу завдання, керування та обробки вихідних координат електропривода застосовано офісний персональний комп'ютер на базі процесора AMD Athlon. Для формування сигналів керування в основний контур регулювання натягу і контур струму навантажувальної машини використовується багатфункціональна плата PCI-1711 фірми Advantech. Серед більшості пакетів розробки прикладних програм були обрані пакети LabVIEW і Matlab із вхідними в його состав програмою структурного моделювання Simulink і майстерні реального часу Real-Time Workshop (RTW), у яких створене програмне забезпечення для лабораторного макета, що дозволяє контролювати хід експерименту та обробку результатів в інтерактивному режимі. Результати лабораторних досліджень узгоджуються з даними математичного моделювання та підтверджують справедливність теоретичних положень.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового завдання, що виявляється в побудові релейних систем оптимального керування для стабілізації натягу смуги на ділянці між вихідною кліткою та моталкою БСХП. Основні наукові та практичні результати роботи полягають в наступному:

1. Доведено можливість використання релейних систем керування ЕП моталки для стабілізації натягу намотуваної смуги. Методами релейного модального керування та АКР синтезовані релейні САРН-О і САРН-П, які дозволяють із високою точністю стабілізувати натяг смуги, що прокочується на БСХП і одержати необхідні статичні і динамічні показники якості системи. При цьому забезпечується низька чутливість електромеханічної системи до координатних і параметричних збурювань.

2. Показано, що використання релейних алгоритмів керування з організацією ковзних режимів роботи дозволяє з однаковим успіхом стабілізувати натяг намотуваної смуги як без урахування пружності кінематичних ланок механічної частини моталок в алгоритмах керування, так і з її урахуванням у випадку подання ЕП моталки одномасовим і двомасовим електромеханічним об'єктом відповідно. Установлено, що для стабілізації натягу намотуваної смуги можливе застосування релейних алгоритмів керування, синтезованих у різних фазових просторах.

3. Доведено, що для забезпечення інваріантності САРН-П щодо зміни швидкості смуги, необхідно забезпечити астатизм системи не нижче другого порядку по збурюючому впливу. У цьому випадку відпадає необхідність використання вузлів компенсації динамічного струму. Зазначеною властивістю володіють: САРН-П, синтезована у фазовому просторі вихідних координат із введенням подвійного інтегрального зв'язку по регульованій координаті; САРН-П, синтезована у фазовому просторі канонічних координат із введенням інтегрального зв'язку по регульованій координаті; САРН-П з керуванням по виходу і першій похідній вектора стану із введенням інтегрального зв'язку.

4. Установлено, що пакет траєкторій руху повинен бути представлений у вигляді реакції еталонної системи того ж порядку, що і вихідний об'єкт на стрибок впливу, що задає. Це дозволить одержати плавне наростання вихідної величини - натягу смуги під час пуску і гальмування БСХП без зриву ковзного режиму в релейній системі за умови, що швидкодія синтезованої релейної САРН-П буде більше швидкодії еталонної системи.

5. Використання ковзних режимів у САРН-О, синтезованих у різних фазових просторах дозволяє одержати високу точність стабілізації натягу смуги без застосування дорогих датчиків натягу. Основним недоліком синтезованих САРН-О є значна коливальність вихідної координати при переході з однієї величини натягу на іншу. Крім того, для виключення впливу роботи стана на величину натягу смуги, всі синтезовані САРН-О варто доповнити вузлами компенсації динамічного струму. У цьому випадку точність стабілізації натягу в першу чергу буде залежати від досконалості алгоритму побудови пристроїв, що компенсують, і стабільності параметрів їхньої елементної бази.

6. Отримано деталізовані структурні схеми і аналітичні вираження коефіцієнтів зворотних зв'язків всіх релейних САРН, синтезованих з урахуванням пружності кінематичних ланок ЕП моталки в алгоритмах керування.

7. Підтверджено працездатність синтезованих релейних САРН ЕП моталки при використанні релейних асимптотичних СС з метою оцінювання координат, недоступних прямому виміру.

8. Створено експериментальну установку, що дозволяє імітувати поведінку хвостової частини прокатного стана (динамічної системи МСК) у режимі намотування смуги із заданим натягом, за допомогою якої перевірена адекватність основних теоретичних висновків і результатів математичного моделювання реальним фізичним процесам.

9. Результати дисертаційної роботи передані для впровадження і використання на ВАТ «АМК» (Алчевський металургійний комбінат), та використовуються в науково-дослідних роботах і навчальному процесі Донбаського гірничо-металургійного інституту при курсовому та дипломному проектуванні спеціальності 7.092203 «Електромеханічні системи автоматизації і електропривод».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Зеленов А.Б., Полилов Е.В. Синтез системы оптимального релейного управления электроприводом моталок станов холодной прокатки // Збірник наукових праць Донецького державно-

го технічного університету. Сер. Електротехніка і енергетика. – Донецьк: ДонНТУ.– 2000.– Вип. 17.– С. 13 – 16.

Здобувачем синтезовано алгоритми керування основних фазових координат для одномасового ЕП моталки з регулюванням швидкості вище номінальної, та алгоритм релейної САР натягу полоси прямої дії у фазовому просторі канонічних координат методом АКР, наведена структурна схема САРН.

2. Зеленов А.Б., Полилов Е.В. Математическое описание электропривода моталки НСХП как объекта управления САР натяжения прямого действия // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Сер. Електротехніка і енергетика. – Донецьк: ДонНТУ.– 2002.– Вип. 41.– С. 134 – 138.

Здобувачем на основі загальновідомих положень теорії прокатки особисто розроблено математичний опис нелінійної нестационарної динамічної системи моталка-смуга-кліть. Приведені матричне диференціальне рівняння та структурна схема, які описують динаміку процесу на ділянці між вихідною кліттю та моталкою НСХП.

3. Зеленов А.Б., Полилов Е.В., Щёлоков А.Г. Создание универсального лабораторного макета системы прямого цифрового управления электроприводом // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”.– Харків: НТУ “ХПІ”.– 2002.– Вип. 12. – Т.2. – С. 472 – 475.

Здобувачем особисто розроблено універсальний лабораторний стенд і програмне забезпечення, проведено експериментальні дослідження з імітації роботи хвостової частини прокатного стану.

4. Практическая реализация релейных алгоритмов управления электроприводом на универсальном лабораторном макете / Зеленов А.Б., Мотченко А.И., Полилов Е.В., Щёлоков А.Г. // Электротехника.– Москва, 2003.– №3.– С. 48 – 51.

Здобувачем особисто створено лабораторний стенд, програмне забезпечення і проведено експериментальні дослідження.

5. Полилов Е.В. Синтез релейной системы управления электроприводом моталки НСХП с учётом упругости кинематических звеньев в пространстве исходных координат // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ. – 2003. – Вип. 2(19). – Т.1. – С. 88 – 91.

6. Зеленов А.Б., Полилов Е.В., Щёлоков А.Г. Синтез релейной САР натяжения прямого действия электропривода моталки НСХП в пространстве основных координат и их производных // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. Електротехніка і енергетика. – Донецьк: ДонНТУ.– 2003.– Вип. 67.– С. 102 – 105.

Методом АКР для ЕП моталки НСХП здобувачем дисертації знайдено алгоритм керування релейної САРН полоси прямої дії у фазовому просторі канонічних координат з урахуванням пружності кінематичних ланок механічної частини моталки, проведено математичне моделювання.

7. Зеленов А.Б., Полилов Е.В. Релейный алгоритм управления САР натяжения прямого действия электропривода моталки НСХП с гибкими обратными связями // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”.– Харків: НТУ “ХПІ”.– 2003.– Вип. 10.– Т.1.– С. 101 – 104.

Методами АКР та релейного модального керування для ЕП моталки НСХП з урахуванням пружності кінематичних ланок механічної частини моталки здобувачем знайдено алгоритм керування релейної САРН прямої дії з управлінням по виходу та першої похідної вектора стану, проведено математичне моделювання.

8. Полилов Е.В. Релейный асимптотический наблюдатель состояния электромеханического объекта // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”.– 2003.– Вип. 10.– Т.2.– С. 379 – 382.

9. Полилов Е.В. Синтез релейных САР натяжения полосы косвенного действия электропривода моталки с учётом упругости кинематических звеньев в пространстве исходных координат // Електромашинобудування та електрообладнання (Одеський національний політехнічний університет). – К: Техніка. – 2003.– Вип. 61.– С. 11 – 16.

АНОТАЦІЇ

Полілов Є.В. «Синтез систем оптимального релейного керування електроприводом намотуючих пристроїв». – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2004.

Дисертація присвячена розробці релейних систем стабілізації натягу смуги, прокочуваної на ділянці між останньою кліткою та моталкою БСХП з організацією ковзних режимів. Запропоновано використання релейних систем керування, що дозволяють із високою точністю стабілізувати натяг намотуваної смуги. При цьому поряд зі стабілізацією натягу смуги забезпечується одержання необхідних статичних і динамічних показників якості системи при забезпеченні малої чутливості електромеханічної системи до координатних і параметричних збурювань. Синтезовані релейні САРН-П і САРН-О як без урахування пружності кінематичних ланок механічної частини моталок в алгоритмах керування, так і з її урахуванням у випадку представлення ЕП моталки одномасовим і двомасовим об'єктом відповідно, отримані аналітичні залежності коефіцієнтів зворотних зв'язків релейних регуляторів натягу смуги.

Доведено, що для забезпечення інваріантності САРН-П щодо зміни швидкості смуги, необхідно забезпечити астатизм системи не нижче другого порядку по збурюючому впливу, що може бути досягнуто введенням інтегральних зв'язків по основній регульованій координаті. Проведене математичне моделювання на ЕОМ. Створено експериментальну установку, за допомогою якої перевірена адекватність основних теоретичних висновків і результатів математичного моделювання реальним фізичним процесам.

Ключові слова: регульований електропривод моталки, релейна система автоматичного керування, ковзний режим, стабілізація натягу смуги, система регулювання натягу прямої дії.

Полилов Е.В. Синтез систем оптимального релейного управления электроприводом наматывающих устройств. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2004.

Диссертация посвящена разработке релейных систем стабилизации натяжения полосы, прокатываемой на участке между последней клетью и моталкой НСХП с организацией скользящих режимов. Применительно к ЭП моталок впервые показана возможность использования релейных систем управления для стабилизации натяжения наматываемой полосы. Методами релейного модального управления и АКР синтезированы релейные САРН-К и САРН-П, позволяющие с высокой точностью стабилизировать натяжение полосы, прокатываемой на непрерывном стане холодной прокатки. При этом наряду со стабилизацией натяжения полосы обеспечивается низкая чувствительности электромеханической системы к координатным и параметрическим возмущениям.

Показано, что использование релейных алгоритмов управления с организацией скользящих режимов работы позволяет с одинаковым успехом стабилизировать натяжение наматываемой полосы как без учёта упругости кинематических звеньев механической части моталок в алгоритмах управления, так и с её учётом в случае представления ЭП моталки одномассовым и двухмассовым электромеханическим объектом соответственно. Доказано, что для обеспечения инвариантности САРН-П относительно изменения скорости полосы, необходимо обеспечить астатизм системы не ниже второго порядка по возмущающему воздействию. В этом случае отпадает необходимость использования узлов компенсации динамического тока. Указанным свойством обладают: САРН-П, синтезированная в фазовом пространстве исходных координат с введением двойной интегральной связи по регулируемой координате; САРН-П, синтезированная в фазовом пространстве канонических координат с введением интегральной связи по регулируемой координате; САРН-П с управлением по выходу и первой производной вектора состояния с введением интегральной связи. Синтезированные САРН-П, обладающие астатизмом первого порядка по возмущающим воздействиям для исключения изменений натяжения полосы во время разгона и торможения НСХП, следует дополнить узлом компенсации динамического тока, с приведением компенсирующего сигнала к входу системы.

Использование скользящих режимов в САРН-К, синтезированных в различных фазовых пространствах позволяет получить высокую точность стабилизации натяжения полосы без применения дорогостоящих датчиков натяжения. Основным недостатком синтезированных САРН-К является значительная колебательность выходной координаты при переходе с одной величины натяжения на другую. Кроме того, для исключения влияния работы стана на величину натяжения полосы, все синтезированные САРН-К следует дополнить узлами компенсации динамического тока. В этом случае точность стабилизации натяжения в первую очередь будет зависеть от совершенства алгоритма построения компенсирующих устройств и стабильности параметров их элементной базы.

Подтверждена работоспособность синтезированных релейных САРН ЭП моталки при использовании релейных асимптотических наблюдателей состояния с целью оценивания координат, недоступных прямому измерению. Получены детализированные структурные схемы и аналитические выражения коэффициентов обратных связей всех релейных САРН, синтезированных с учетом упругости кинематических звеньев ЭП моталки в алгоритмах управления. Создана экспериментальная установка, позволяющая имитировать поведение хвостовой части прокатного стана (динамической системы МПК) в режиме намотки полосы с заданным натяжением, с помощью которой проверена адекватность основных теоретических выводов и результатов математического моделирования реальным физическим процессам.

Ключевые слова: регулируемый электропривод моталки, релейная система автоматического управления, скользящий режим, стабилизация натяжения полосы, система регулирования натяжения прямого действия.

Polilov E.V. “Syntheses of systems of optimum relay-type control of the electric drive of reeling up devices” - the Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of Cand.Tech.Sci. on a speciality 05.09.03 - electrotechnical complexes and systems. - National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2004.

The dissertation is devoted to development of relay-type systems of stabilization of tension of a strip, rolled on a site between last role stand and reel of CCRM with the organization of sliding modes. Use of relay-type control systems which allow to stabilize a tension of a reeled up strip with high accuracy is offered. Thus along with stabilization of a tension of a strip is provided reception of necessary static and dynamic parameters of quality of system at maintenance of small sensitivity of electromechanical system to coordinate and parametrical indignations. Relay-type SACT-D and SACT-I as without taking into account elasticity of kinematics parts of a mechanical part of reel in algorithms of regulation, so and with its account in case of performance ED of reel an one-mass and two-mass object accordingly are synthesized, analytical dependences for all coefficient of feedbacks of relay-type regulators of a tension of strip are received.

It is proved, that for maintenance of invariance of SACT-D concerning change of speed of a strip, it is necessary to provide non static systems not below the second order on revolting influence that can be achieved by introduction of integral signals on the main adjustable coordinate. The experimental stand with which help is checked up adequacy of the basic theoretical conclusions and results of mathematical modeling to real physical processes is created.

Keywords: the adjustable electric drive of reel, relay-type system of the automatic control, a sliding mode, stabilization of a tension of a strip, system of regulation of a tension of direct action.