

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ им. АРТЕМА

На правах рукописи
ПРУДКОВ Марк Львович

УДК 62-83.52

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ
МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОЭКОНОМИЧНЫХ
МЕТАЛЛОПРОФИЛЕЙ

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

Диссертация
на соискание ученой степени
доктора технических наук
в форме научного доклада

Днепропетровск - 1992

Работа выполнена в Государственном проектном и проектно-конструкторском институте "Электротяжмашпроект"

Официальные оппоненты

доктор технических наук, профессор Филатов А.С.

доктор технических наук, профессор Зеленев А.Б.

доктор технических наук, профессор Траубе Е.С.

Ведущее предприятие - Научно-исследовательский, проектный и проектно-конструкторский институт по комплексной электрификации промышленных объектов "Тяжпромэлектропроект".

Защита состоится "12" марта 1992 в 14-00 часов на заседании специализированного совета Д068.08.02 в Днепропетровском горном институте им. Артема по адресу: 320014, г. Днепропетровск, проспект К. Маркса, 19.

Отзывы в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять в Ученый Совет Днепропетровского горного института.

Диссертация разослана "07" октября 1992

Ученый секретарь специализированного совета Д068.08.02,

канд. техн. наук, доцент

В.Т. Заика

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00816142 (M)

I. Общая характеристика работы

I.1. Актуальность проблемы. Для существенного /на 20-25%/ снижения расхода металла в последние годы на ряде предприятий металлургии, машиностроения, производства металлоконструкций и металлоснабжения организовано массовое производство высокоэкономичных металлопрофилей разнообразной конфигурации поперечного сечения, в том числе замкнутой формы.

В высокоразвитых странах подобные производства обеспечиваются большим количеством однопрофильных низкопроизводительных станков. Необходимость преодоления отставания отечественного металлопроизводства от зарубежного поставило задачу создания новых технологий и высокопроизводительных станков с гибкой многопрофильной структурой.

Соответствующие технологии и оборудование были созданы и в эксплуатацию введено более 20 станков.

При создании нового оборудования и технологий предстояло решить комплекс научно-технических задач, немалая часть которых относилась к средствам автоматизированного электропривода. В числе таких задач - преодоление барьера увеличению производительности станков при ограничениях на скорость прокатки со стороны машин для порезки профилей на ходу и их набора в пакеты, повышение точности размеров профилей по длине, упрощение кинематических схем приводов отдельных машин и соответственно их конструкций, стабилизация режимов холодного плакирования биметаллических полос при сверхвысоких обжатиях /до 80%/ и др. Расчеты подтвердили, что, например, преодоление средствами автоматизированного электропривода барьера повышению производительности станков сулит народнохозяйственный эффект свыше 1 млн.руб. на одном стане.

Одновременно с этим необходимо было обеспечить функционирование разрозненных систем электропривода станков как единого комплекса с улучшением их энергетических характеристик, унификацией технических средств, повышением надежности эксплуатации.

Взаимосвязанное решение ряда задач достаточной самостоятельной сложности вылилось в проблему, для решения которой надлежало

АНБ им. В. Стефановича
АН УРСР

проработать научные основы создания новых способов и систем управления электроприводами, отвечающих требованиям производства эффективных металлопрофилей, вопросы их физической реализации, разработки методик расчетов, их внедрения в практику проектирования, наладки и эксплуатации автоматизированных электроприводов. Теоретическими предпосылками решения этой проблемы послужили работы ученых институтов ВНИИЭлектропривод, ВНИИМЕТМАШ, ВНИПИ ТТЭП, МЭИ, ХПИ, НИИ ХЭМЗ и других организаций.

1.2. Цель и основные задачи работы заключаются в разработке концепции автоматизированного электропривода для обеспечения массового производства высокоэкономичных металлопрофилей повышенной производственной готовности, включающей теоретическое обобщение закономерностей, характеризующих производство металлопрофилей, и создание на их базе научных основ эффективных способов и систем управления электроприводами, реализующих увеличение производительности прокатного оборудования, точности металлопрофилей как законченных элементов машин и сооружений, улучшение ресурсных характеристик оборудования, унификацию технических средств и повышение надежности функционирования массового электропривода.

1.3. Совокупность наиболее существенных научно-обоснованных технических решений, представляемых к защите, составляют решения по повышению производительности станов на основе оптимизации с повышением скорости прокатки в интервалах между резами скоростного и энергетического режимов многодвигательного электропривода, оптимизации энергетических режимов электроприводов летучих режущих устройств, оптимизации по быстрдействию систем подчиненного регулирования электроприводов при ограничении старшей производной управляемой координаты, унификации и повышения эксплуатационной надежности технических средств на основе параллельно-последовательной коррекции САР, стабилизации режимов прокатки биметаллического полосового подката на основе квазиавтономности упругосвязных САР* электроприводов.

1.4. Основные научные положения и результаты, их новизна.

Положения:

1) оптимизация скоростного и энергетического режимов многодвигательного электропривода главной линии станов с ограниченной

скоростью мерной порезки на ходу металлопрофилей/обеспечивающих циклические подъемы скорости прокатки после реза для увеличения производительности и снижения перед резом/ реализуется на основе совокупности циклического позиционирования теоретических линий реза на непрерывно движущемся прокате и закона управления с зависимым регулированием поля;

2) на основе квазиоптимальных по нагреву законов движения позиционных электроприводов летучих режущих устройств/трапецидальных, синусоидальных и т.п./ также обеспечивается снижение динамических усилий и потребления реактивной энергии, в сравнении с традиционным треугольным и оптимальным параболическим законами;

3) реализация эффективных систем позиционирования и законов движения при ограничении старшей производной управляемой координаты электропривода, в частности, темпа изменения тока/рыбка/, обеспечивается, в отличие от традиционных, совокупностью принципов оптимизации по быстродействию систем подчиненного регулирования и комбинированного/ по отклонению и возмущению/ управления, понижающего порядок астатизма САР;

4) способы параллельно-последовательной коррекции САР, в отличие от традиционных способов последовательной коррекции, обеспечивают простыми средствами повышение "грубости" САР массового электропривода, приближение быстродействия внешних контуров регулирования к внутреннему и унификацию технических средств, благодаря чему существенно повышается надежность функционирования САР и оборудования в целом;

5) упругая взаимосвязь второго рода САР мощности и скорости электроприводов главной линии станов холодного плакирования биметаллического полосового подката препятствует стабилизации режимов прокатки и улучшению качества полос; достижением квазиавтономности упругосвязанных САР существенно ослабляются дестабилизирующие возмущения со стороны неблагоприятных факторов;

Результаты:

1) метод расчета повышения производительности и тепловой загрузки электроприводов главной линии станов с нестационарным скоростным режимом при циклическом групповом позиционировании, учитывающий технологические возможности повышения скорости прокатки и энергетические возможности сокращения циклов мерного реза металлопрофилей;

2) системы позиционирования, особенность которых по сравнению с традиционными состоит в сочетании возможностей повышения точности мерных резов и улучшения энергетических показателей летучих режущих устройств на основе нетрадиционных квазиоптимальных по нагреву линейных и нелинейных законов движения;

3) совокупность принципов комбинированного управления и оптимизации по быстрдействию САР при ограничении старшей производной управляемой координаты электропривода с функциональным разделением и нелинейной соответственно фазовым траекториям настройкой каналов регуляторов, управляющих динамическим моментом электропривода, реализует возможности достижения предельного быстрдействия систем подчиненного регулирования;

4) метод анализа колебаний тока при различных способах демпфирования упругих первого рода колебаний частоты вращения электропривода с рекомендациями, в отличие от известных работ, выбора целесообразных способов демпфирования САР, исходя из допустимой производной и соответственно амплитуды и частоты гармонических колебаний тока;

5) метод исследования квазиавтономных упругосвязанных через прокатываемую полосу САР мощности и скорости электроприводов главной линии полосовых плакировочных станов при наличии существенных нелинейностей типа "бестоковая пауза", и "люфт" в регулировочной характеристике тиристорных электроприводов моталок;

6) алгоритмы расчетов среднеквадратичной полной мощности нагрузки электроприводов главной линии полосовых станов с большим весом в энергетическом балансе электроприводов с непрерывным смещением в цикле прокатки в противоположных направлениях углов сдвига нагрузки, существенно повышающие достоверность расчетов питающих станы магистральных линий электроснабжения.

1.5. Практическая значимость работы

- повышение / на 20-30%/ средней скорости и производительности станов с ограниченной скоростью порезки на ходу металлопрофилей за счет периодически повторяющегося в каждом цикле мерного реза повышения скорости прокатки;

- сокращение /в 1,5-2 раза/ времени циклов мерного реза коротких металлопрофилей и повышение при этом производительности станов за счет снижения тепловой и динамической нагрузок электроприводов летучих режущих устройств с нетрадиционными законами движения в цикле мерного реза;

- увеличение точности металлопрофилей на основе систем управления электроприводами летучих режущих устройств, исключающих накопление ошибок мерного реза и смещение теоретической линии реза;

- повышение стабильности технологических режимов холодного плакирования со сверхвысокими обжатиями и исключение обрывов биметаллических полос за счет квазиавтономных, упругосвязанных систем стабилизации переднего и заднего натяжений, а также

- повышение быстродействия, унификация технических средств и увеличение надежности эксплуатации на основе САР электроприводов с параллельно-последовательной коррекцией и нелинейно оптимизируемых;

- снижение потребления электроприводами главной линии станов из питающей сети реактивной мощности и соответственно уменьшение потерь в электрических сетях и первоначальных затрат на системы электроснабжения;

- использование в проектной практике предложенных алгоритмов и инженерных методик расчета по выбору автоматизированных электроприводов с улучшенными характеристиками, их систем электроснабжения.

1.6. Внедрение результатов работы осуществлено в процессе проектирования и ввода новых высокопроизводительных прокатных станов по производству высокоэкономичных металлопрофилей, поставленных комплектно заводами тяжелого машиностроения СМЗ, ЭЗТМ и др. металлургическим комбинатам и заводам "Запорожсталь", Череповецкому, Магнитогорскому, "Амурсталь", Нытвенскому, им.Петровского, Новомосковскому трубному и др., Каменец-Подольскому заводу ограджающих конструкций; региональным центром металлоснабжения: Киевскому, Одесскому, Днепропетровскому, Донецкому и др., Тульскому им.Кирова и др., а также ряду зарубежных фирм.

Совокупный экономический эффект от внедрения результатов работы составляет 10,7 млн.руб.

1.7. Публикации. Основные результаты работы отражены в 150 публикациях, в том числе 93 изобретениях, 57 статьях и докладах на все-союзных и республиканских конференциях.

Всего по проблемам электропривода, теоретическим и практическим вопросам автоматического управления и автоматизации производственных процессов автором опубликована 161 работа, в том числе 97 изобретений.

1.8. Апробация работы. Основные результаты работы доложены и обсуждены на межотраслевом научно-техническом совещании "Расширение сортамента, улучшение технологии, увеличение объема производства и применения горячекатаных и гнутых профилей проката" (Харьков, 1974), на Всесоюзном научно-техническом семинаре "Повышение точности геоме-

трических размеров труб с помощью АСУТП" (Москва, 1983); Всесоюзном совещании "Управление многосвязными системами" (Тбилиси, 1984), Всесоюзном научно-техническом совещании "Цифровые методы управления преобразовательными устройствами и электроприводами на их основе" (Запорожье, 1984), Научно-техническом семинаре "Новые электронные приборы и устройства" (Москва, 1985), Научно-техническом семинаре "Применение микропроцессорных устройств в промышленном электроприводе" (Москва, 1985), Республиканской научно-технической конференции "Современный металлургический электропривод, автоматизация и САПР промышленных установок (Харьков, 1986 г.) 4-й научно-технической конференции "Автоматизированный электропривод прокатных станов (Свердловск, 1990 г.); на научно-технических семинарах института "Электротяжмашпроект" и других организаций.

2. Основы концепции автоматизированного электропривода для новых технологий массового производства высокоскоростных металлопрофилей

В основу разработки концепции автоматизированного электропривода для новых технологий массового производства высокоскоростных металлопрофилей положены следующие особенности технологий.

2.1. Сложной научно-технической задачей является создание высокоскоростных летучих ножиц с углами реза до 60° и скоростью резки выше $1,5 \text{ мс}^{-1}$ для порезки на мерные длины металлопрофилей с высотой до 120 мм. Поэтому скорость порезки на ходу металлопрофилей в потоке станом ограничена $1,5 \text{ мс}^{-1}$, что соответственно сдерживает производительность основного технологического оборудования. Важной научно-технической задачей является преодоление этого барьера росту производительности станом, тем более, что отсутствуют ограничения в росте скорости и производительности остальных транспортно-технологических механизмов главной линии станом.

2.2. С проблемой повышения производительности станом сопряжено решение задачи синтеза энергетически оптимальных позиционных электроприводов одного из основных технологических механизмов - летучих ножиц, пил и прессов с электрическим выравниванием скорости, ибо традиционные электроприводы летучих режущих устройств из-за повышенной тепловой загрузки, высоких динамических нагрузок препятствуют повышению скорости прокатки, особенно при порезке металлопрофилей на малые длины 1,5-3,0 м (частота циклов до 3000 в час).

2.3. С проблемой повышения производительности станом также тесно связана задача интенсификации работы участков пакетировки металлопрофилей и создания новых способов и систем управления электроприводами, интенсифицирующих технологический процесс пакетировки.

2.4. Наряду с увеличением объемов производства задача повышения производственной готовности металлопрофилей, или их выпуска как законченных элементов машин и сооружений, требует повышения точности геометрических размеров и, в частности, размера по длине. Соответственно требуется создание позиционных систем управления электроприводами летучих режущих устройств, исключающих накопление ошибок мерного реза (в частности, из-за проскальзываний мерительного ролика) и смещение на профиле теоретической линии реза.

2.5. Создание высокодинамичных электроприводов, в частности, режущих устройств, требует синтеза предельно быстродействующих контуров регулирования частоты вращения. Предельное быстродействие требуется также, как известно, у регулируемых в функции частоты вращения электроприводов непрерывных групп клеток горячепрокатных станов спецпрофилей по обработке возмущений со стороны нагрузки.

2.6. Преодоление барьера росту производительности станов на основе циклически переменного скоростного режима главной линии станов требует предельного использования возможностей электроприводов главной линии, повышения эффективности защит и, в частности, защит уникальных электромашин от перенапряжений, т.е. необходим синтез систем управления, осуществляющих помимо основных задач управления также защитные функции.

2.7. Массовое производство металлопрофилей требует создания массового электропривода с унифицированными техническими средствами и их настройкой, с возможностью их полной взаимозаменяемости для упрощения и удешевления производства, наладки и эксплуатации.

2.8. Непрерывный либо порулонный процесс производства высокоэкономичных металлопрофилей основан в подавляющем большинстве случаев на использовании полосового подката, свернутого в рулоны, с размоткой последних в главной линии станов. В связи с этим актуально создание эффективных в части тепловой загрузки, быстродействия, массогабаритных показателей автоматизированных электроприводов разматывающих устройств станов.

2.9. Одним из высокоэффективных исходных материалов для металлопрофилей является полосовой биметалл, обладающий высокой коррозионной стойкостью и получаемый на станах холодного плакирования со сверхвысокими обжатиями, с большим весом в энергетическом балансе электроприводов намоточно-размоточных устройств. При сверхвысоких обжатиях существенно увеличивается вероятность обрыва полос, вследствие чего актуально создание высокоточных упругосвязанных систем регулирования

натяжений и скорости. При большом весе в энергетическом балансе непрерывно регулируемых в противоположных направлениях и в темпе намотки - размотки рулонов электроприводов намоточно-размоточных устройств актуальна разработка алгоритмов расчета потребляемой станом среднеквадратичной полной мощности для возможности достоверного определения пропускной способности питающих станы линий электроснабжения.

2.10. Для успешного функционирования технологий массового производства металлопрофилей важно надежное функционирование и всех вспомогательных операций - загрузки исходных материалов и выгрузки готовой продукции, настройки линий прокатки, разбраковки профилей, точного останова концов полос для сварки при непрерывном процессе и т.п. Поэтому актуально создание автоматизированных электроприводов для вышеуказанных операций.

Перечисленные особенности технологий легли в основу исследований, разработок и внедрения новых способов, систем и устройств управления электроприводами, новых методики расчетов при проектировании, вводе и эксплуатации более 20 высокопроизводительных прокатных станов по производству высокоэкономичных металлопрофилей.

Перейдем к изложению наиболее актуальных аспектов концепции автоматизированного электропривода для вышеуказанных технологий.

3. Позиционные электроприводы, обеспечивающие повышение производительности станов и точности металлопрофилей.

3.1. Как показано в предыдущей главе, ограничение летучими режущими устройствами скорости станов при разрезании металлопрофилей на мерные длины сдерживает производительность станов. Преодоление этого барьера обеспечивается разработанным нами способом повышения скорости стана в каждом цикле мерного реза на основе группового позиционирования проката и многодвигательного электропривода главной линии [1-5, 6, 7, 12, 14, 18, 26, 37, 40, 2 - 26, 27, 32], рис. 3.1.

Получены обобщенные соотношения для повышения производительности стана $\Delta\Pi$ относительно производительности станца. И относительно производительности при скорости прокатки, равной скорости мерного реза V_0 :

- при непрерывном процессе производства металлопрофилей:

$$\Delta\Pi_H = \Delta V = \left\{ d_V + (1 - d_V^{-1}) \left[(d_V - 1) l_2 + l_0 \right] \right\}^{-1} - 1, \quad (3.1)$$

- при порулонном производстве:

$$\Delta\Pi_P = \Delta\Pi_H \left[1 + t_3 V_0 (1 + \Delta\Pi_H) L_H^{-1} \right], \quad (3.2)$$

где $\Delta V = (V_{cp} - V_0) V_0^{-1}$ - приращение средней скорости стана, $V_{cp} = L_M T_4^{-1}$, относительно скорости мерного реза V_0 ; $d_v = V_M V_0^{-1}$ - диапазон повышения скорости стана $V(t)$ от скорости реза V_0 до максимально допустимой для данного технологического процесса прокатки скорости V_M ; $l_\partial = V_0^2 L_M^{-1} a_{vc}^{-1}$ - относительное перемещение проката при разгоне стана; L_M - мерная длина профилей;

$a_{vc} = 2 a_{v+} a_{v-} (a_{v+} + a_{v-})^{-1}$ - среднее значение ускорения стана; a_{v+} , a_{v-} - абсолютные величины линейных ускорений стана в периоды соответственно разгонов и замедлений; t_z - время заправки в стан нового рулона; L_H - длина полосы в рулоне; $l_c = L_c L_M^{-1}$ - доля мерной длины, прокатываемая на скорости V_0 в процессе разрезания профиля; T_4 - время цикла мерного реза.

При уменьшении отрезаемых длин L_M и увеличении скорости V_0 сокращаемый в результате группового позиционирования цикл мерного реза может оказаться недопустимым для ряда механизмов главной линии стана. В этих случаях необходимо ограничивать сокращение цикла, чтобы обеспечить выполнение неравенства: $T_4 > T_{4r}$, где T_{4r} - минимально возможное время цикла разрезания профиля. Увеличение скорости стана и групповое позиционирование не допускается вообще, если $L_M = L_{Mr}$, где $L_{Mr} = V_0 T_{4r}$ - минимально возможная мерная длина при данной скорости стана V_0 . В режиме с повышением скорости могут отрезаться мерные длины $L_M > L_{Mr}$, но ограничение длительности повышенной скорости должно наступать каждый раз, когда начинает соблюдаться неравенство:

$$d_v^{-1} (1 - d_v^{-1}) [(d_v - 1) l_\partial + l_c] < l_{\partial r}, \quad (3.3)$$

где $l_{\partial r} = V_0^2 (L_M a_{vr})^{-1}$ - относительный параметр минимально возможного цикла мерного реза; $a_{vr} = V_0 T_{4r}^{-1}$ - величина, имеющая размерность ускорения и характеризующая минимально возможный цикл мерного реза.

Если неравенство (3.3) соблюдается, значения ΔP_H и ΔP_P уменьшаются и должны вычисляться из выражения:

$$\Delta P_H = l_{\partial r} - 1 > 0. \quad (3.4)$$

Как видно из вышесказанного, достижение (3.1), (3.2) повышения скорости прокатки ΔV и производительности усложняются ограничениями (3.3), чем обуславливается целесообразность разработки номограммы расчетов производительности, рис.3.2 [2-26,27].

В квадранте III номограммы, рис.3.2, построены графики граничной функции:

$$A_r = 2 (\sqrt{l_\partial^2 + l_\partial} - l_\partial), \quad (3.4)$$

соответствующие увеличению средней скорости стана при треугольном скоростном режиме группового позиционирования:

$$\Delta V_T = 100(A_T^{-1} - 1), \% \quad (3.5)$$

с предельным диапазоном повышения скорости:

$$d_{VT} = \sqrt{\ell_2^{-1} + 1}. \quad (3.6)$$

Графиками функций (3.4) - (3.6) учитывается дополнительное к (3.3) ограничение возможности повышения скорости и производительности станом при групповом позиционировании.

В связи с циклически нестационарным скоростным режимом прокатки увеличивается тепловая нагрузка электроприводов главной линии. Степень увеличения нагрева зависит от способа регулирования частоты вращения: однозонного, двухзонного с предварительным и зависимым ослаблением потока возбуждения, в последнем случае при $d_V \leq d_\phi$ и $d_V > d_\phi$, где $d_\phi = \Phi_H \Phi^{-1}$ - степень ослабления потока возбуждения.

Получено обобщенное уравнение для эквивалентного по нагреву момента электроприводов главной линии при групповом позиционировании (в отношении к номинальному):

$$m_2 = d_\phi \sqrt{[1 - T_\theta(1 - k_\phi)] m_c^2 + T_\theta k_\phi m_\theta^2}, \quad (3.7)$$

$$\text{где } T_\theta = 2\ell_2 d_V (d_V - 1) \{1 + (d_V - 1)[(d_V - 1)\ell_2 + \ell_0]\}^{-1} - \quad (3.8)$$

относительная продолжительность неустановившихся режимов работы стана в цикле мерного реза (приведена в У квадранте номограммы, рис.3.2);

$$k_\phi = (d_V - 1)^{-1} [(d_\phi^3 - 1)(3d_\phi^3)^{-1} - (d_\phi - 1)d_\phi^{-3}] + (d_\phi^3 - 1)(3d_\phi^3)^{-1} + d_\phi^{-3} - \quad (3.9)$$

коэффициент зависимого с $d_V > d_\phi$ ослабления потока возбуждения.

При зависимом с $d_V \leq d_\phi$ ослаблении потока в выражение (3.9) подставляется $d_\phi = d_V$, а при однозонном и двухзонном с предварительным ослаблением потока, $d_\phi = 1$. В последнем случае $k_\phi = 1$.

На рис.3.3 приведены диаграммы сравнительной тепловой нагрузки электроприводов при зависимом и предварительном ослаблении потока, из которых следует, что зависимое ослабление потока обеспечивает уменьшение нагрева электроприводов (до 20%), и тем в большей степени, чем выше диапазоны d_V и d_ϕ .

Однозонное регулирование меньше загружает электроприводы по теплу, однако требует увеличения установленной мощности электроприводов и их преобразовательных устройств и ведет соответственно к большому потреблению из питающей сети реактивной мощности, по сравнению с двухзонным и особенно с зависимым ослаблением потока.

Разработаны [I-26,37] устройства защиты многодвигательного электропривода и электропривода летучего режущего устройства главной линии стана от тепловых перегрузок при переменном скоростном режиме. Устройства прогнозируют перегрузки и действуют не на отключение, а на понижение скорости (производительности) стана, приводя тепловые нагрузки к допустимым.

3.2. С проблемой повышения производительности станов сопряжено решение задачи оптимизации систем позиционирования электроприводов одного из основных технологических машин главной линии станов - летучих ножниц, пил и прессов с электрическим выравниванием скорости, т.к. традиционные системы сдерживают сокращение циклов реза и производительности станов при порезке профилей на малые длины 1,5-3,0 м (частота циклов реза до 3000-4000 в час). Сдерживающим фактором является в основном нагрузка электропривода по теплу. Однако немаловажное значение в этом имеют и динамические нагрузки, и набросы на питающую сеть реактивной мощности.

К важнейшим показателям систем относится также их основной качественный показатель - точность мерного реза. Перечисленные факторы являются частными критериями многокритериальной задачи оптимизации рассматриваемых систем. Поскольку задача нелинейная в общем виде известными методами она практически неразрешима.

Поэтому исследованы энергетические критерии оптимизации применительно к системам с различными законами движения электропривода, в том числе и нетрадиционными [2-35,36,54,56]. К последним, в частности, могут быть отнесены трапецеидальный с неизменным (Π) и с изменяющимся ($\Pi\Pi$) при изменении технологического режима ускорением, оптимальный по нагреву параболический (Π), квазиоптимальный по нагреву синусоидальный (C) и др.

На рис.3.4 приведена диаграмма относительных экстремальных значений тепловой нагрузки $i_{эм} = f(\gamma_0)$ и потребления реактивной мощности $q_c = f(\ell_m)$ при различных законах движения электропривода летучих ножниц (γ_0 - динамический показатель электропривода, соответствующий угловому пути ножей при разгоне и замедлении с максимальным ускорением; ℓ_m - мерная длина профиля в отношении к периметру траектории ножей в цикле реза; γ - располагаемая для отработки рассогласования в цикле реза часть траектории ножей). Исследование показало, что по сравнению с оптимальным по нагреву параболическим (Π) законом динамические нагрузки снижены: у C - закона в 1,21 раза, у $\Pi\Pi$ - закона в 1,33 раза. Тепловая нагрузка по сравнению с Π -законом увеличивается у C -закона всего лишь на 1,3%,

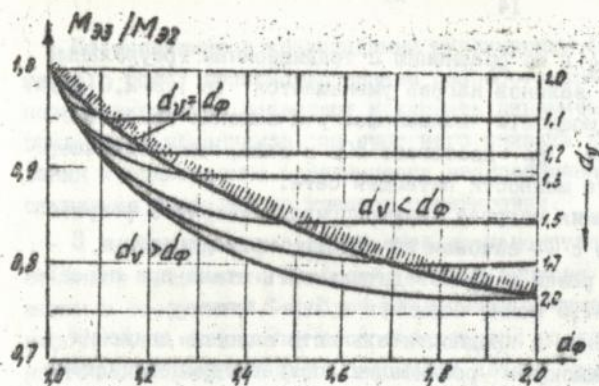


Рис. 3.3. Диаграммы отношений эквивалентных по нагреву моментов электроприводов главной линии стана при групповом позиционировании и двухзонном управлении потоком возбуждения (M_{33} -зависимом, M_{32} -независимом)

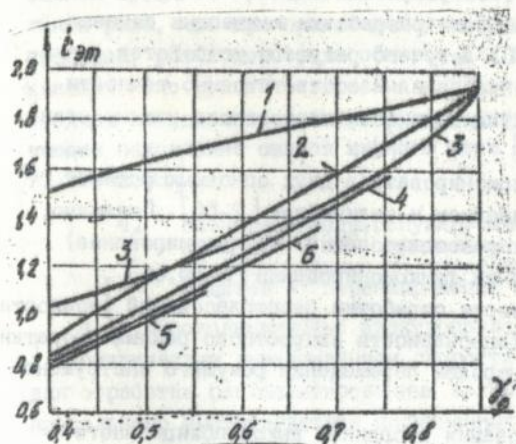
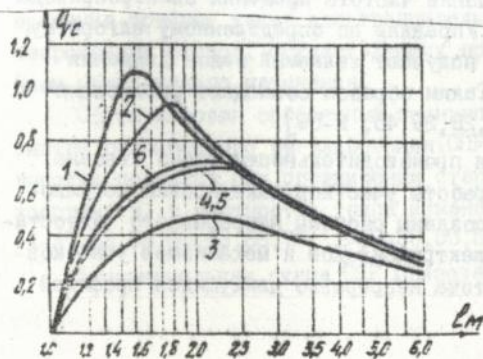


Рис. 3.4.

Относительные значения энергетических показателей электропривода летучих ножей при $\gamma = 0,85$; $a_i = 2,0$:

а) экстремальных эквивалентного по нагреву тока

$$t_{эм} = f(\gamma_0).$$



б) средних реактивной мощности при $\gamma_0 = 0,5$; $e_0 = 0,8$ (относительная ЭДС); $\Delta U_H = 0,08$ (относительное падение напряжения).

Цифры 1-6 соответствуют законам управления Т, ТП, Ц, ЦП, Пи С (ТП - треугольный с переменным усурением)

у ЦП - закона - на 5,3%, а по сравнению с традиционным треугольным (Т) законом у ЦП - и С-законов нагрев уменьшается в 1,3-2,0 раза. Потребление реактивной мощности наименьшее у Ц-закона: по сравнению с Т-законом снижение q_c достигает 50% и выше, что облегчает поддержание коэффициента мощности питающей сети.

В результате снижения нагрева электропривода летучего режущего устройства по сравнению с Т-законом на основе нетрадиционных С - и ЦП -законов скорость резки и производительность стана при порезке коротких длин $l_m = 1,4-1,6$ можно повысить в 1,5-2 раза.

Окончательное решение о предпочтительности законов движения принимается с учетом сложности реализации соответствующей системы управления, а также ее качественного показателя - точности мерного пореза.

Переменные скоростные режимы совмещенного циклического позиционирования многодвигательного электропривода стана и летучего режущего устройства, рис.3.1, потребовали разработки концепции синтеза системы позиционирования (САРП) летучего режущего устройства, инвариантной по точности позиционирования и соответственно точности мерного реза относительно нестационарности скоростного режима стана [1-13, 18, 19, 20, 23, 29, 46].

Известные САРП могут функционировать в двух основных режимах отработки рассогласований: линейном и нелинейном [2-56]. Показано, что САРП с отработкой больших рассогласований (позиционирование) реализуется проще при нелинейном функционировании [2-36, 56]. Для достижения требуемой точности отработки рассогласований (точности мерного реза) в условиях нестационарности скоростного режима прокатки САРП должна выполняться с контролем перемещения режущего инструмента [2-26].

При подчиненном регулировании координат выход позиционного регулятора (РП) определяет задание частоты вращения электропривода летучего режущего устройства. Управляя по определенному алгоритму уровнем выходного сигнала РП, получают желаемый закон движения электропривода в цикле реза. Таким образом совмещают реализацию двух алгоритмов [1-13, 18, 19, 20, 23, 29, 46, 2-59].

3.3. С проблемой повышения производительности тесно связана необходимость интенсификации работы участков пакетировки металлопрофилей. Предложен способ и созданы системы непрерывного (безостановочного) позиционирования электроприводов и механизмов участков набора пакетов относительно потока непрерывно движущихся профилей [1-17, 32, 33, 43, 74].

По сравнению с традиционным циклическим (соответственно циклам мерного реза) позиционированием разработанные системы непрерывного позиционирования позволяют исключить динамические нагрузки электроприводов и механизмов, за счет чего снизить нагрев электрооборудования и существенно (практически неограниченно) повышать темп поступления профилей на участок пакетировки.

3.4. Наряду с ростом объемов производства, повышение производственной готовности профилей, или их выпуска как готовых элементов машин и сооружений, требует увеличения точности геометрических размеров, и, в частности, точности размера по длине. Наибольшее влияние на точность мерного реза оказывает датчик измерения длины профилей, в качестве которого применяют контактные мерительные ролики с импульсным датчиком. Проскальзывание мерительных роликов относительно профиля, интегрирование (накопление) этого проскальзывания при непрерывном процессе приводит к смещению вдоль профиля теоретической линии реза, что при производстве гофрированных, перфорированных профилей, различного рода обшивок для транспортных средств и ограждающих конструкций совершенно неприемлемо. Разработаны способы и созданы позиционные электроприводы летучих режущих устройств, исключющие накопление ошибок мерного реза [1-36, 38, 41, 48, 54, 64, 65, 69, 75, 77, 79, 82, 83].

4. Электроприводы, регулируемые в функции частоты вращения и ЭДС, предельные по быстродействию, унифицированные по управлению, с эффективной защитой от перенапряжений

4.1. Высокодинамичные электроприводы летучих режущих устройств с электрическим выравниванием скорости (в частности, летучих ножниц) для отработки регламентированных законов позиционирования требуют предельного быстродействия подчиненных контуров регулирования частоты вращения и тока. Максимально возможного быстродействия САР частоты вращения требуют также электроприводы непрерывных групп клеток горячепрокатных станков, осуществляющих прокатку спецпрофилей с поддержанием межклетевого натяжения.

Сформулирован обобщенный принцип оптимизации по быстродействию систем подчиненного регулирования (СПР) с астатизмом первого и более высоких порядков при ограничении старшей производной управляемой координаты, в частности, темпа изменения тока ("рывка") [1-47, 53, 58, 60, 63, 66, 70, 2-49, 50, 55, 56].

Функциональная схема СПР приведена на рис.4.1.

В основу положены обобщенные дифференциальные уравнения для объектов регулирования n -го порядка с ограничением старшей производной:

$$\begin{aligned} \dot{X}_i &= T_i^{-1} X_{i+1}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n-1; \\ \dot{X}_n &= C, \end{aligned} \quad (4.1)$$

где X_i - фазовые координаты объекта, в случае электропривода - путь или площадь скоростной ошибки $\Delta\alpha$, приращение частоты вращения $\Delta\omega$, динамическая составляющая момента (тока) m_d и т.п.,

T_i - постоянные времени; C - константа, определяющая уровень ограничения n -ой производной, - для электропривода, - di/dt .

При решении уравнений (4.1) для нулевых начальных условий и исключении параметра времени t получаем обобщенное выражение оптимальных по быстродействию фазовых траекторий $X_j(X_1)$:

$$X_j = D_j [(n+1-j)!]^{-1} [n! D_1^{-1} X_1]^{(n+1-j)n^{-1}} \quad (4.2)$$

где $j = 1, 2, 3, \dots, n$; $D_1 = C \prod_{k=1}^{n-1} T_k^{-1}$; $D_{j < n} = C \prod_{k=j}^{n-1} T_k^{-1}$; $D_{j=n} = C$.

Выражение (4.2) положено в основу настройки оптимальных по быстродействию регуляторов для САР с астатизмом первого, второго и третьего порядков (таблица 4.1).

Выражением (4.2) не учитывается воздействие на объект внешних возмущений (для электропривода - момента статической нагрузки), отклоняющих переходные процессы от оптимальных. Это объясняется тем, что традиционные регуляторы САР, функционирующие в линейной области, совмещают управление соответствующей фазовой координатой с компенсацией возмущений. Показано, что у традиционных САР частоты вращения с астатизмом второго и третьего порядков (САР2 и САР3) пропорциональная (П) часть регуляторов частоты вращения (РС) у САР2 и ПИ - часть РС у САР3 управляют только динамической составляющей момента электропривода m_d , а И - часть РС у САР2 и И² - часть у САР3 - компенсируют возмущение по нагрузке m_c . При переходе к оптимизации фазовых траекторий традиционная настройка компенсирующих момент m_c частей регуляторов приводит к существенным отклонениям переходных процессов от оптимальных. Поэтому предложено разделение функций управления и компенсации на основе совокупного использования принципов оптимизации по быстродействию (4.2) и комбинированного управления. Разработан [1-45, 2-42, 43] быстродействующий наблюдатель статического момента и принцип компенсации с его помощью воздействий по нагрузке.

Совокупность принципов оптимизации и комбинированного управления понижает порядок астатизма и упрощает настройку САР: САР2 требует

усложнение структурной и аппаратной реализации СПР. Кроме того, они требуют индивидуальной настройки каждой СПР и, соответственно, повышенного резерва. В то же время, отойдя от традиционных методов оптимизации СПР, можно повысить "грубость" (инвариантность) СПР к параметрическим и структурным состояниям объекта регулирования, унифицировать настройки статики и динамики контуров тока и частоты вращения СПР. В [2-52] проведено обобщенное исследование СПР с параллельно-последовательной коррекцией и показано, что на их базе можно реализовать контур тока с ЛАЧХ типа I-2-I-2, с существенно сниженной чувствительностью к флуктуациям параметров $T_{яц}, T_{яц}$ (относительное сопротивление и электромагнитная постоянная времени цепи якоря). При этом отпадает необходимость в адаптации регулятора тока к режиму прерывистых токов. Кроме того, существенно снижается влияние противо-ЭДС двигателя и отпадает необходимость в компенсации этого влияния. Благодаря этому, упрощается схемная реализация регулятора тока, появляется возможность унифицированных настроек контуров тока СПР широкого диапазона типов и мощностей приводов. Свойства повышенной "грубости" контуру тока с ЛАЧХ типа I-2-I-2 придает значительное снижение по сравнению с традиционной ЛАЧХ типа I-2 постоянной интегрирования контура:

$$B_T = T_T / \omega_{срт} T_{яц} \ll T_T, \quad (4.8)$$

где $\omega_{срт}$ - частота среза разомкнутого контура тока,
 T_T - постоянная ПД - параллельной коррекции контура тока,
 а также особенность ПД - параллельной коррекции, сопрягающая частота которой $(T_T)^{-1}$ определяет быстродействие и характер переходного процесса в контуре по управлению.

Для снижения B_T (4.8) частота среза $\omega_{срт}$ повышается до граничной $\omega_{гр}$ тиристорного преобразователя и требует проверки на отсутствие субгармонических автоколебаний. Для контуров тока условие В.П.Шипило отсутствия субгармонических колебаний, -

$$B_T \geq 2 (T_{яц} - T_T) (T_{яц} \omega_{гр})^{-2}, \quad (4.9)$$

выполняется у всех приводов.

В контуре частоты вращения, ЭДС реализовать ЛАЧХ I-2-I-2 не удается из-за близости инерционностей, соответствующей эквивалентной контуру тока, и измерителя частоты вращения (ЭДС) двигателя. Вместе с тем, благодаря ПД-параллельной коррекции и в контуре скорости обеспечивается низкая чувствительность к флуктуациям механической постоянной времени привода.

Если в дополнение к изложенному выше обеспечить унификацию уровней информационных сигналов датчиков регулируемых координат, - тока и частоты вращения (ЭДС), - для унификации уровней циркулирующих в контурах управляющих сигналов, можно полностью унифицировать настроечные параметры соответствующих регуляторов различных приводов. Более того, ПД - параллельная коррекция, как показано в [2-52], позволяет унифицировать между собой настроечные параметры регуляторов тока и скорости (ЭДС) и, таким образом, полностью унифицировать технические средства СПР.

5. Электроприводы, регулируемые в функции мощности, с улучшенными технологическими и энергетическими характеристиками

5.1. Непрерывный, либо порулонный процесс производства металлопрофилей основан на использовании полосового материала, свернутого в рулоны, с размоткой последних в главной линии станов. Электроприводы разматывающих устройств оснащаются САР мощности. От эффективности способов регулирования электроприводов разматывалетей с САР мощности зависит эффективность способов повышения производительности станов на основе переменного скоростного режима прокатки.

Произведена классификация САР мощности в зависимости от способов регулирования частоты вращения электроприводов в диапазоне изменения диаметра рулона - однозонного или двухзонного, выполнено исследование эффективности различных классов САР мощности в части тепловой загрузки, быстродействия, массогабаритных показателей, разработана обобщенная методика выбора электроприводов, регулируемых в функции мощности, с введением обобщенного коэффициента использования мощности, а также способов регулирования, имеющих наилучшие показатели по быстродействию и массогабаритные характеристики [2-2,8,14,16].

5.2. Одним из высокоэффективных исходных материалов для металлопрофилей является обладающий высокой коррозионной стойкостью полосовой биметалл, получаемый на станах холодного плакирования со сверхвысокими обжатиями.

Важнейшей функцией электроприводов, регулируемых в функции мощности, является стабилизация натяжения обрабатываемой полосы в процессе прокатки, что позволяет стабилизировать процесс прокатки, улучшить качественные характеристики прокатываемой полосы, исключить ее обрывы. Для стабилизации натяжения синтезированы квази-автономные упругосвязные САР мощности [1-1,2,3,4,27,35,39,42,50,59,67,2-9,10,11,12,13, 15,17,18,19,20,22,23,25,29,34,37,40].

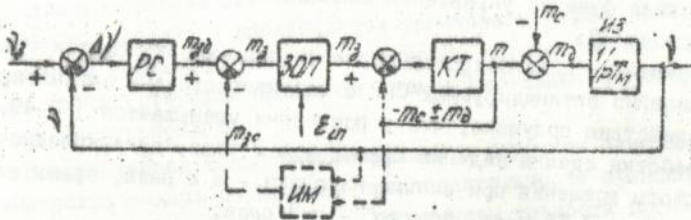


Рис.4. I. Функциональная схема САР частоты вращения с ограничением производной тока (момента).
 РС- регулятор скорости; ЗФП -звено ограничения производной тока; КТ-замкнутый контур тока;
 ИМ - измеритель момента

Таблица 4. I. Фазовые траектории САР при $di/dt \leq \epsilon in$

Функциональная схема РС	Фазовые траектории
<p>САР1</p>	-
<p>САР2</p>	-
<p>а</p>	$n=j=3; X_1 = \Delta d; X_j = X_2 = m_{здн}; dx_3/dt = \epsilon in;$ $T_1 = T_{н1}; T_2 = T_m.$ $m_{здн} = \sqrt[3]{6 \epsilon_{in}^2 T_{н1} T_m \Delta d} \times \text{sign } \Delta d$
<p>б</p>	

Примечание: Фазовые траектории соответствуют характеристикам регуляторов П-РС и звеньев Н в цепи регуляторов И-РС

при этом П - регулятора, САРЗ - ПИ - регулятора, а регуляторы выполняют только функции управления динамической составляющей момента электропривода M_d .

При сравнении идеализированных переходных характеристик традиционных линейно оптимизируемых САР с характеристиками оптимизируемых по быстродействию получено, что у последних уменьшается [2-49,55]: время отработки скачка задания примерно в 2 раза, динамические просадки частоты вращения при скачке нагрузки - в 2 раза, время ее восстановления - в 1,66 раза, "петля" - в 3 раза;

На основе принципа (4.2) и постановки многофакторного эксперимента разработаны также методы оптимизации по быстродействию двухконтурных и трехконтурных САР частоты вращения электроприводов с групповым стабилизированным источником питания и управлением по цепи возбуждения [1-55, 2-46,48].

4.2. Переменный скоростной режим многодвигательного электропривода главной линии станков, в том числе главных электроприводов формовочных клеток, с предельным использованием возможностей электроприводов, требует для повышения надежности работы создания САР с эффективными защитами, в том числе защитой коллекторов уникальных электромашин от перенапряжений. Синтезированы САР однозонного и двухзонного действия с быстродействующим наблюдателем ЭДС и переключением обратной связи на напряжение при достижении последним номинальной величины. Предложенные САР одновременно позволяют уменьшить запас тиристорных преобразователей по напряжению и, таким образом, снизить потребление реактивной мощности [1-30,60, 2-42,43,44,51].

Исследованы перенапряжения электроприводов при разгонах и возмущениях со стороны вала, показавшие, что у синтезированных САР максимальные значения перенапряжений не превосходят 10%.

4.3. В связи с упругими (первого рода) колебаниями частоты вращения электроприводов исследованы [2-6] колебания тока главной цепи при различных способах демпфирования САР, построена диаграмма амплитуд гармонических колебаний тока с выделением области допустимых значений, исходя из допустимой производной тока. Проведенное исследование позволяет рекомендовать приемлемые способы демпфирования упругих колебаний для конкретных САР электроприводов.

4.4. Массовое производство металлопрофилей потребовало создания надежной в эксплуатации, простой в настройке, унифицированной по техническим средствам системы управления автоматизированным электроприводом. Традиционные системы подчиненного регулирования (СПР) весьма чувствительны к нестабильности параметров и структуры тиристорного электропривода, к влиянию противо-ЭДС, что вызывает

7. Основные результаты работы

7.1. Разработана научно-обоснованная концепция автоматизированного электропривода для принципиально новых высокопроизводительных технологий массового производства высокоэкономичных металлопрофилей повышенной производственной готовности, которая легла в основу оснащения соответствующих прокатных станов системами и техническими средствами электропривода.

Разработанная концепция сопряжена с решением следующих научно-технических задач: повышением производительности принципиально нового технологического оборудования, повышением точности производства металлопрофилей как законченных элементов машин и сооружений, улучшением ресурсных, в том числе, энергетических характеристик автоматизированного электропривода, унификацией технических средств и повышением надежности их в эксплуатации, созданием доведенных до инженерной практики методик расчетов автоматизированных электроприводов с улучшенными характеристиками, отвечающих требованиям массового производства высокоэкономичных металлопрофилей повышенной производственной готовности.

7.2. Разработан способ, обеспечивающий преодоление барьера повышению производительности станов (до 30%) за счет периодически повторяющегося с повышением скорости в каждом цикле мерного реза позиционирования проката и многодвигательного электропривода главной линии станов. Предложена доведенная до номограммы обобщенная методика расчета повышения производительности станов, тепловой загрузки электроприводов главной линии применительно к различным способам регулирования и диапазонам ослабления поля - однозонного, двухзонного с предварительным или зависимым ослаблением поля, - и показано преимущество последнего в части снижения тепловой загрузки приводов (до 20%). Учтены технологические (допустимые повышения скорости прокатки, частота поступления профилей на участок набора пакетов) и энергетические (допустимая тепловая нагрузка электропривода летучих ножниц) ограничения. Показано, что при создании систем мерного реза с позиционированием электроприводов летучих ножниц, замкнутым по положению ножей, переменный скоростной режим прокатки не понижает точности мерного реза. Создана цифроаналоговая система группового позиционирования проката и многодвигательного электропривода главной линии станов, получено 9 а.с. на изобретения.

7.3. Предложены нетрадиционные, минимизирующие тепловую нагрузку законы движения электроприводов летучих режущих устройств - синусои-

дальный, трапецидальный и т.п., близкие к оптимальному по нагреву (отличия в худшем случае не превышают 10%), но по сравнению с последним снижающие динамические нагрузки (до 25%) и потребление реактивной мощности (у трапецидального закона по сравнению с традиционным треугольным снижением превышает 50%). Разработана обобщенная методика расчета и сравнения энергетических характеристик, созданы новые (7 а.с.) цифроаналоговые системы позиционирования электропривода летучих режущих устройств с квазиоптимальными характеристиками законов движения.

7.4. Предложен способ и созданы системы (5 а.с.) непрерывного (безостановочного) позиционирования электроприводов и механизмов участка набора пакетов относительно потока непрерывно движущихся профилей. По сравнению с традиционным циклическим (соответственно циклам мерного реза) позиционированием разработанные системы исключают динамические нагрузки электроприводов и механизмов, снижают загрузку электрооборудования по теплу и позволяют существенно (практически неограниченно) повышать темп поступления профилей на участок пакетировки.

7.5. Разработаны новые способы и созданы цифровые системы позиционирования электроприводов летучих режущих устройств (14 а.с.), исключющие накопление ошибок мерного реза (в частности, из-за проскальзывания мерительного ролика) и смещения на профиле теоретической линии реза.

7.6. Разработаны обобщенные принципы оптимизации по быстродействию систем подчиненного регулирования СПР при ограничении старшей производной управляемой координаты, в частности, темпа изменения тока-рывка, с астатизмом первого и более высокого порядков в совокупности с комбинированным (по отклонению и возмущению) управлением (квазиинвариантных), понижающим порядок астатизма. Сравнение идеализированных переходных характеристик показывает, что у оптимизируемой по быстродействию СПР по сравнению с традиционной время отработки скачков задания сокращается в два раза, а при скачках нагрузки у СПР с астатизмом второго порядка просадка частоты вращения уменьшается в 2 раза, время ее восстановления в 1,66 раза, а интеграл отклонения частоты вращения (петля) - в 3 раза. На способы и системы оптимизации СПР с управляющим воздействием как по цепи якоря, так и по цепи возбуждения, получены 5 а.с. на изобретения.

Вместе с тем, нелинейности в системах управления реверсивных тиристорных преобразователей, применяемых в САР мощности, наряду с улучшением массогабаритных и энергетических показателей, ухудшают динамические характеристики электроприводов. Так, в отличие от совместного, согласованного управления при раздельном управлении вентильными группами преобразователя изменение направления (реверс) тока двигателя сопровождается бестоковой паузой и "люфтом" (зоной нечувствительности) регулировочной характеристики. Исследовано влияние этих нелинейностей, препятствующих достижению абсолютной инвариантности, на качество регулирования натяжения прокатываемых полос [2-21, 24]. Получены обобщенные зависимости максимальных отклонений натяжения от стабилизируемого значения при реверсе тока (момента) электропривода в периоды разгонов и замедлений стана, построена обобщенная диаграмма наибольших отклонений натяжений полос, обусловленных нескомпенсированностью возмущений по скорости стана в бестоковую паузу или "люфт" тиристорного преобразователя.

Разработан [1-16] способ компенсации "люфта" на входе токового регулятора, позволяющий уменьшить отклонения натяжения в переходных режимах работы стана.

Выполненные на основе разработанной методики расчеты наибольших отклонений натяжения, обусловленных бестоковой паузой и "люфтом" при разгонах и замедлениях стана, показали, что отклонения натяжений не выходят за пределы 10% текущих стабилизируемых значений. Из этого следует, что тиристорные преобразователи с нелинейностями (раздельное и несогласованное управление), имеющие приемлемые массогабаритные и энергетические показатели, могут широко применяться для электроприводов, регулируемых в функции мощности.

5.3. В связи с тем, что электроприводы с САР мощности имеют большой вес в энергетическом балансе полосовых стана и функционируют в двигательном-генераторном режиме, усложняются расчеты нагрузок магистралей электроснабжения этих стана и используются упрощенные методы, приводящие в большинстве случаев к завышению расчетных нагрузок и первоначальных затрат на линии электроснабжения. Поэтому возникла потребность в исследованиях и разработке достоверной методики расчета нагрузок подобных стана [2-33].

Исследования показали, что максимальная эквивалентная по нагреву нагрузка питающей магистрали в ряде случаев может быть существенно меньше суммы нагрузок отдельных приводов, принимаемой для расчета магистралей. В наибольшей степени снижение расчетных нагрузок имеет место при зависимом от приложенного напряжения регулировании потока

возбуждения приводов с САР мощности (15–30%), что соответственно позволяет снижать первоначальные затраты на сооружение магистралей.

6. Автоматизированный электропривод вспомогательных систем, обеспечивающий повышение надежности работы комплекса оборудования станов

Немаловажную роль в успешном функционировании комплекса оборудования станов играют вспомогательные системы и устройства – загрузочно-выгрузочные, накопления запаса полосы для непрерывной работы стана на время сварки концов полос, точного останова концов полос в стык-сварочной машине по окончании размотки рулона, разбраковки профилей, сборки пакетов профилей и т.п. Созданы автоматические устройства и системы управления электроприводами вспомогательных систем, повышающие надежность и эффективность работы комплекса оборудования станов [1–10, 15, 21, 22, 24, 31, 49, 51, 52, 56, 57, 66, 72, 73, 80]. Так, устройства [1–10, 68, 73] обеспечивают повышение точности позиционирования электрогидроприводов загрузочных и выгрузочных машин станов в условиях утечек жидкости через неплотности управляемых гидроцилиндров и самопроизвольных опусканий загружаемых рулонов или выгружаемых пакетов профилей на подъемных механизмах.

Устройства [1–21, 22, 24, 57] осуществляют позиционирование заднего конца полосы разматываемого с высокой скоростью рулона для его точной установки в стык-сварочной машине с последующей сваркой с передним концом следующей исходной полосы. При отсутствии подобных устройств конец полосы проскакивает стык-сварочную машину и попадает в петлеобразователь, а для его извлечения из петлеобразователя и возврата в стык-сварочную машину требуется останов станом.

Устройства [1–15, 49, 56] позиционирования обеспечивают контроль за заполнением петлевого устройства, в том числе и многопетлевого, и производят автоматическое замедление и останов головной части стана при переполнении петлеобразователя, либо замедление и останов центральной части стана к концу выбора запаса полосы. Эти устройства позволяют предотвращать аварийные ситуации, связанные со снабжением станом исходной заготовкой.

Подобные функции осуществляют и остальные разработанные автором устройства, облегчая труд обслуживающего персонала по управлению станами, по их перенастройке, исключая из потока профили с дефектами и т.п.

7.7. Синтезированы САР однозонного и двухзонного действия с быстродействующим наблюдателем ЭДС и переключением обратной связи на напряжение при достижении последним номинального значения для защиты коллекторов уникальных электромашин от перенапряжений. Предложенные САР одновременно обеспечивают снижение потребления реактивной мощности (3 а.с.).

7.8. Исследованы способы параллельно-последовательной коррекции систем подчиненного регулирования (СПР), разработаны обобщенные методы синтеза СПР с первым и вторым порядком астатизма, обеспечивающие простыми средствами повышение их "грубости" к параметрическим возмущениям при изменении режимов работы, унификацию настроек контуров регулирования и собственно технических средств СПР.

7.9. Выполнено исследование эффективности различных способов регулирования электроприводов с САР мощности в части тепловой загрузки, быстродействия, массогабаритных показателей, предложена обобщенная методика расчетов загрузки электроприводов по теплу при различных способах регулирования с введением коэффициента использования мощности. Созданы САР мощности с различными способами регулирования (11 а.с.)

7.10. Синтезированы квазиавтономные упругосвязные через прокатываемую биметаллическую полосу САР мощности и скорости электроприводов главной линии станов прокатки биметалла (4 а.с.), исследовано достижение автономности в условиях существенных нелинейностей типа "бестоковая пауза" и "люфт" в регулировочной характеристике тиристорных электроприводов моталок, разработаны алгоритмы расчета потребляемой из питающей сети электроприводами главной линии среднеквадратичной из цикл прокатки полной мощности для различных законов регулирования, позволяющие за счет повышения достоверности снизить первоначальные затраты на линии электроснабжения до 30%.

7.11. Созданы новые автоматические устройства и системы (29 а.с.), повышающие надежность и эффективность работы комплекса оборудования станов.

Литература по теме доклада

I. Изобретения

1. А.с. 266905 (СССР). Устройство коррекции по величине обжатия для электропривода разматывающей моталки стана холодной прокатки (М.Л.Прудков), Б.и.1970, № 12.
2. А.с.310858 (СССР). Электропривод моталки стана холодной прокатки (М.Л.Прудков), Б.и. 1971, № 24.

3. А.с. 338980 (СССР). Устройство для задания ускорения реверсивного стана холодной прокатки, (М.Л.Прудков), В.и.1972, №16.
4. А.с. 374107 (СССР). Устройство для регулирования натяжения полосы на моталке стана холодной прокатки (М.Л.Прудков), В.и.1973, №16.
5. А.с. 485413 (СССР). Стан с порезкой проката на ходу (М.Л.Прудков, Д.И.Пружанский, Б.М.Индицкий, А.И.Клушин, Г.Р.Хейфец, И.М.Даскал, Ф.А.Фурманов), В.и.1975, №35.
6. А.с. 491928 (СССР). Стан с порезкой проката на ходу (М.Л.Прудков, Д.И.Пружанский, Б.М.Индицкий, А.И.Клушин, Г.Р.Хейфец, И.М.Даскал, Ф.А.Фурманов), В.и.1975, № 42.
7. А.с. 521079 (СССР). Устройство для управления электроприводом летучих ножниц (Д.И.Пружанский, Б.М.Индицкий, В.Г.Ткаленко, Е.И.Дехтярь, М.Л.Прудков), В.и.1976, 26.
8. А.с. 545401 (СССР). Система для управления станом с порезкой проката на ходу (М.Л.Прудков, Д.И.Пружанский, Б.М.Индицкий), В.и.1977, №6.
9. А.с. 602253 (СССР). Устройство управления мерным резом полос с периодически повторяющимися гофрами (М.Л.Прудков, Д.И.Пружанский, Б.М.Индицкий, В.Г.Ткаленко), В.и.1978, №14.
10. А.с. 616611 (СССР). Устройство для программного управления (М.Л.Прудков, Л.М.Левчинский, О.П.Перевезий), В.и.1978, №27.
11. А.с. 617188 (СССР). Устройство автоматического управления стана с порезкой проката на ходу (Д.И.Пружанский, Б.М.Индицкий, В.Г.Ткаленко, Е.И.Дехтярь, М.Л.Прудков), В.и.1978, №28.
12. А.с. 654934 (СССР). Система управления станом с порезкой проката на ходу (М.Л.Прудков, Д.И.Пружанский, В.Г.Ткаленко), В.и.1979, №12.
13. А.с. 657410 (СССР). Система управления приводом летучих ножниц (М.Л.Прудков), В.и.1979, №14.
14. А.с. 664768 (СССР). Система для управления станом с порезкой проката на ходу (М.Л.Прудков), В.и.1979, №20.
15. А.с. 670352 (СССР). Система управления агрегатом с петлевым устройством (М.Л.Прудков), В.и.1979, № 24.
16. А.с. 714606 (СССР). Устройство для регулирования тока реверсивного вентильного электропривода (М.Л.Прудков), В.и.1980, №6.
17. А.с. 727248 (СССР). Система управления профилирующим агрегатом (М.Л.Прудков). В.и.1980, №14.

18. А.с. 746418 (СССР). Система управления приводом летучих ножниц (М.Л.Прудков), Б.и.1980, № 25.
19. А.с. 759249 (СССР), Устройство управления летучими ножницами (Г.А.Мирошник, В.Г.Ткаленко, Д.И.Пружанский, М.Л.Прудков), Б.и.1980, № 32.
20. А.с. 778956 (СССР). Система управления приводом летучих ножниц (М.Л.Прудков, Г.А.Мирошник, В.Г.Ткаленко, Д.И.Пружанский), Б.и.1980, № 42.
21. А.с. 818688 (СССР). Система управления агрегатом отделки полосового проката (М.Л.Прудков). Б.и.1981, № 13.
22. А.с. 818690 (СССР). Система автоматического останова участка нагона петли непрерывного агрегата. (М.Л.Прудков, И.М.Даскал, Д.И.Пружанский, Ю.Б.Милявский, В.Г.Ткаленко), Б.и.1981, №13.
23. А.с. 874279 (СССР). Система управления приводом летучих ножниц (М.Л.Прудков), Б.и.1981, № 39.
24. А.с. 891188 (СССР). Система автоматического останова участка нагона петли непрерывного агрегата (М.Л.Прудков), Б.и.1981, №47.
25. А.с. 891189 (СССР). Система управления агрегатом для производства гофрированной полосы (М.Л.Прудков, А.П.Стеблевский), Б.и.1981, № 47.
26. А.с.893419 (СССР). Система управления профилегбочным агрегатом (М.Л.Прудков), Б.и.1981, №48.
27. А.с.897365 (СССР). Система для регулирования натяжения металла на моталке мелкосортного стана (Д.К.Крюков, Л.И.Браудо, М.Л.Прудков), Б.и.1982, №2.
28. А.с.925652 (СССР). Устройство для непрерывного изготовления изделий из вспенивающейся композиции (М.Л.Прудков, Г.Р.Хейфец, Н.Т.Писаренко, Е.Г.Булгаков), Б.и.1982, № 17.
29. А.с. 927422 (СССР). Устройство управления мерным резом проката (М.Л.Прудков). Б.и.1982, № 18.
30. А.с.944035 (СССР). Устройство для двухзонного управления полем электродвигателя постоянного тока (М.Л.Прудков), Б.и.1982, №26.
31. А.с. 946709 (СССР). Система управления участком формирования пакетов гнутых профилей (М.Л.Прудков, И.Ф.Хомяченко), Б.и.1982, № 28.

32. А.с.946710 (СССР). Система управления профилигибочным агрегатом (М.Л.Прудков). В.и.1982, № 28.
33. А.с. 952394 (СССР). Система управления профилигибочным агрегатом (М.Л.Прудков), В.и.1982, № 31.
34. А.с.952647 (СССР). Устройство для изготовления многослойных панелей с утепляющим слоем из пенопластов (М.Л.Прудков, Н.Т.Писаренко, Г.Р.Хейфец, Е.Г.Булгаков). В.и.1982, № 31
35. А.с. 955488 (СССР). Электропривод моталки (М.Л.Прудков, Г.Д.Вольхин, В.П.Рудь, А.М.Карабут), В.и.1982, №32
36. А.с. 960963 (СССР). Система управления приводом летучих ножниц (Д.И.Пружанский, В.М.Ферлудин, В.Г.Ткаленко, В.Л.Соседка, М.Л.Прудков), В.и.1982, № 46.
37. А.с. 962834 (СССР). Система для управления станом с порезкой проката на ходу (М.Л.Прудков), В.и.1982, № 47.
38. А.с. 998017 (СССР), Устройство управления летучей пилой (М.Л.Прудков, Д.И.Пружанский, И.М.Даскал, Г.Р.Хейфец), В.и.1983, № 7..
39. А.с. 1014609 (СССР), Система управления реверсивным станом холодной прокатки (М.Л.Прудков, В.П.Рудь). В.и.1983, № 16
40. А.с. 1026867 (СССР), Система управления прокатным станом с порезкой проката на ходу (М.Л.Прудков), В.и.1983, № 25
41. А.с. 1030110 (СССР), Система мерного реза проката (М.Л.Прудков), В.и.1983, № 27
42. А.с. 1036419 (СССР), Устройство для автоматического управления моталкой стана холодной прокатки (М.Л.Прудков, В.П.Рудь), В.и. 1983, № 31
43. А.с. 1045968 (СССР), Система управления профилигибочным агрегатом (М.Л.Прудков), В.и.1983, № 37
44. А.с. 1049200 (СССР). Система управления приводом многоклетьевого профилигибочного стана с порезкой проката на ходу приводными летучими ножницами (Д.И.Пружанский, В.М.Ферлудин, А.И.Гуральник, М.Л.Прудков, В.А.Хмель, В.Н.Малеев), В.и.1983, № 39
45. А.с.1052298 (СССР), Устройство для определения момента прокатки (М.Л.Прудков), В.и.1983, № 41
46. А.с. 1058726 (СССР), Электропривод отрезного устройства (М.Л.Прудков), В.и.1983, № 45

47. А.с. 1069108 (СССР), Электропривод постоянного тока.
(М.Л.Прудков), Б.и.1984, № 3.
48. А.с. 1072991 (СССР), Устройство управления летучей пилой
(М.Л.Прудков), Б.и.1984, № 6
49. А.с. 1082506 (СССР), Система управления агрегатом с многопет-
левым накопителем (М.Л.Прудков, И.Ф.Хомляченко), Б.и.1984, № 12
50. А.с. 1085654 (СССР), Система управления реверсивным правильно-
растяжным станом (М.Л.Прудков, В.П.Рудь), Б.и.1984, № 14
51. А.с. 1088830 (СССР). Система автоматической отбраковки труб
(М.Л.Прудков, М.А.Фингарет), Б.и.1984, № 16
52. А.с. 1101308 (СССР), Система для автоматической отбраковки
труб (М.Л.Прудков), Б.и.1984, № 25
53. А.с. 1108592 (СССР), Электропривод постоянного тока
(М.Л.Прудков), Б.и.1984, № 30.
54. А.с. 1109270 (СССР), Устройство управления летучей пилой
(М.Л.Прудков), Б.и. 1984, № 31
55. А.с. 1115188 (СССР), Электропривод постоянного тока
(М.Л.Прудков, В.Э.Аксельрод), Б.и. 1984, № 35
56. А.с. 1122387 (СССР), Система управления агрегатом с петлевым
устройством (М.Л.Прудков, Л.З.Канторович, В.И.Сапалановский,
М.А.Бурсук), Б.и. 1984, № 41
57. А.с. 1151341 (СССР), Устройство автоматического замедления
полосы на участке нагона петли непрерывного профилигибочного
агрегата (Д.И.Пружанский, М.Л.Прудков, В.И.Шурыгин), Б.и.1985, № 15
58. А.с. 1156229 (СССР), Электропривод непрерывного прокатного
стана (М.Л.Прудков), Б.и., 1985, № 18
59. А.с. 1156755 (СССР). Система управления реверсивным станом
холодной прокатки (М.Л.Прудков), Б.и. 1985, № 19
60. А.с. 1159139 (СССР), Электропривод постоянного тока с двух-
зонным регулированием скорости (М.Л.Прудков), Б.и.1985, № 20
61. А.с. 1214451 (СССР), Установка для непрерывного изготовления
слоистых изделий со средним слоем из пенопласта
(Г.Р.Хейфец, М.Л.Прудков, А.Ф.Белоусов), Б.и.1986, № 8

62. А.с. 1219195 (СССР). Система управления непрерывным полосовым агрегатом (М.Л.Прудков, Л.З.Канторович, Г.Д.Вольхин, Л.Ф.Полищук, Р.А.Ковалевская), Б.и.1986, № 11
63. А.с. 1228208 (СССР), Электропривод постоянного тока (М.Л.Прудков), Б.и.1986, № 16
64. А.с. 1228961 (СССР), Способ управления мерным резом и устройство для его осуществления (М.Л.Прудков), Б.и. 1986, № 17
65. А.с. 1252079 (СССР), Устройство для управления летучей пилой (М.Л.Прудков, И.Ф.Хомяченко), Б.и.1986, № 31
66. А.с. 1264286 (СССР), Электропривод постоянного тока (М.Л.Прудков), Б.и. 1986, № 38
67. А.с. 1288876 (СССР), Электропривод металлки прецизионного агрегата (М.Л.Прудков), Б.и. 1987, № 5
68. А.с. 1300416 (СССР), Устройство для программного управления гидроприводами (М.Л.Прудков), Б.и.1987, № 12
69. А.с. 1315064 (СССР), Универсальный агрегатированный стан с порезкой проката на ходу (Г.Р.Хейфец, М.Л.Прудков, А.Ф.Белоусов) Б.и. 1987, № 21
70. А.с. 1332497 (СССР), Электропривод постоянного тока (М.Л.Прудков), Б.и.1987, № 31
71. А.с. 1398940 (СССР), Система управления агрегатом производства трехслойных панелей (М.Л.Прудков, Г.Р.Хейфец, А.Ф.Белоусов), Б.и. 1988, № 20
72. А.с. 1424895 (СССР), Система управления разгрузочным устройством (М.Л.Прудков, В.П.Рудь, В.И.Тенетко), Б.и. 1988, № 35
73. А.с. 1425605 (СССР), Устройство для программного управления многодвигательным гидроприводом (М.Л.Прудков, И.Ф.Хомяченко), Б.и. 1988, № 35
74. А.с. 1417486 (СССР). Способ управления профилегбочным агрегатом и устройство для его осуществления (М.Л.Прудков), Б.и. 1988, № 48
75. А.с. 1484411 (СССР), Устройство для раскрытия на ходу холодного профиля (М.Л.Прудков), Б.и. 1989, № 21

76. А.с. 1496854 (СССР), Линия для непрерывного изготовления гофрированных полос (Г.Р.Хейфец, М.Л.Прудков, А.Ф. Белоусов), Б.и. 1989, № 28
77. А.с. 1502148 (СССР), Способ управления профилирующим агрегатом и устройство для его осуществления (М.Л.Прудков), Б.и. 1989, № 31
78. А.с. 1516174 (СССР), Формовочный стан для производства гофрированных полос (М.Л.Прудков), Б.и. 1989, № 39
79. А.с. 1516365 (СССР), Линия для непрерывного изготовления обшивок панелей с перфорацией и поперечными, периодически повторяющимися гофрами (Г.Р.Хейфец, М.Л.Прудков, А.Ф. Белоусов), Б.и. 1989, № 39.
80. А.с. 1582272 (СССР), Устройство для блокировки самовключения приводов рабочих органов при восстановлении энергопитания (М.Л.Прудков), Б.и. 1990, № 28
81. А.с. 1613215 (СССР), Линия продольной резки (М.Л.Прудков, Я.Н.Дашевский), Б.и. 1990, № 46
82. А.с. 1646883 (СССР), Устройство управления линией для непрерывного изготовления обшивок панелей с перфорацией и поперечными, периодически повторяющимися гофрами (М.Л.Прудков), Б.и. 1991, № 17
83. А.с. 1660406 (СССР), Способ управления станом с перфорацией и порезкой гнутых профилей на ходу и устройство для его осуществления (М.Л.Прудков), Б.и. 1991, № 36
84. А.с. 1700730 (СССР), Позиционный двухдвигательный электродrive с электрической синхронизацией (М.Л.Прудков), Б.и. 1991, № 47.

2. СТАТЬИ И ДОКЛАДЫ

1. Дехтярь Е.И., Прудков М.Л. Разработка и моделирование систем управления электроприводами с силовыми тиристорными преобразователями (сб. "Состояние и эффективность использования полупроводниковых преобразовательных устройств", УкрНИИТИ, Киев, 1968.
2. Прудков М.Л. Выбор мощности двигателей моталок (Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок, изд-во "Энергия", 1969, № 3

3. Бутковский Л.Ф., Прудков М.Л. Выбор напряжения возбудителей двигателей (Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок, изд-во "Энергия", 1969, № 5)
4. Прудков М.Л., Анализ динамических свойств систем зависимого управления полем двигателей постоянного тока (Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок, изд-во "Энергия", 1969, № II)
5. Прудков М.Л. Влияние случайных колебаний напряжения сети и нагрузки на точность стабилизации скорости вентиляльного электропривода / Электротехн.пром-сть, Сер.Электропривод, 1970, вып. I
6. Чернышев А.Н., Грушко В.Л., Прудков М.Л. О демпфировании упругих колебаний автоматизированного электропривода постоянного тока / "Электричество", 1970, № 4
7. Прудков М.Л. О динамике систем зависимого регулирования поля двигателей постоянного тока / "Электричество", 1970, № 8
8. Прудков М.Л. Сравнение технико-экономических показателей электроприводов моталок станов холодной прокатки / Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок изд-во "Энергия", 1970, № 7.
9. Прудков М.Л. Об автономных и инвариантных системах автоматического регулирования натяжений и скорости на реверсивном стане / "Электричество", 1970, № 12
10. Прудков М.Л., Бутковский Л.Ф. Влияние эксцентриситета моталки на колебания систем регулирования натяжения при намотке прокатываемых полос / Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок, изд-во "Энергия", 1971, № I.
11. Чернышев А.Н., Грушко В.Л., Прудков М.Л. О влиянии внутренних обратных связей объекта на динамику многоконтурной системы прямого регулирования натяжения полосы /Сб. "Обработка металлов давлением" (Дмети), вып.56, изд-во "Металлургия", 1971
12. Чернышев А.Н., Грушко В.Л., Прудков М.Л. О компенсации влияния внутренних обратных связей в системе прямого регулирования натяжения полосы при намотке на моталку станов холодной прокатки /Изв.вузов, Электромеханика, 1971, № 2

13. Прудков М.Л., Титов В.В. Исследование трехконтурной системы прямого регулирования натяжения при прокатке / Инструктивные указания по проектированию электротехнических промышленных установок, изд-во "Энергия", 1971, № 3
14. Прудков М.Л. Сравнительный анализ электроприводов моталок станов холодной прокатки / "Электротехника", 1971, № 5
15. Прудков М.Л., Титов В.Е. О динамике прямого регулирования натяжения полосы на участке "клеть-моталка" многовалкового стана / Электротехн.пром-сть. Сер. Электропривод, 1971, вып.6
16. Прудков М.Л. Выбор электродвигателей для привода моталок станов холодной прокатки / Электротехн.пром-сть. Сер. Электрические машины, 1971, вып.6
17. Чекмарев А.П., Чернышев А.Н., Грушко В.Л., Прудков М.Л. Анализ технологических факторов прокатки тонких листов на реверсивном стане и требования к системам автоматизации / Сб. "Обработка металлов давлением" (Дмети), вып.56, изд-во "Металлургия", 1971.
18. Грушко В.Л., Прудков М.Л. Структурные схемы моталки с электроприводом как объекта регулирования натяжения полосы при холодной прокатке / Сб. "Электрификация и автоматизация горных и металлургических предприятий", изд-во "ПромИнь", Дн-вск, 1971, № 2.
19. Прудков М.Л. О требованиях к САР натяжений и скорости тонколистовой прокатки на реверсивном стане (Изв.вузов, Электромеханика, 1971, № 9
20. Прудков М.Л. О точности регулирования натяжения полосы на моталках листовых станов / "Электротехника", 1972, № 4
21. Прудков М.Л. Применение вентильных преобразователей с раздельным управлением для электроприводов моталок листовых станов / Инструктивные указания по проектированию эл.технических промышленных установок, изд-во "Энергия", 1972, № 12
22. Апенко В.И., Прудков М.Л., Дехтярь Е.И., Индицкий Б.М., Титов В.Е., Чернышев А.Н. Экспериментальное исследование многовалкового стана как объекта регулирования натяжения прокатываемых полос / Реф.информации "Монтаж и наладка электрооборудования", М.ЦЕНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1973, № 2 (98)

23. Прудков М.Л. Об автоматическом регулировании натяжения полосы при тонколистовой прокатке на реверсивных станах / "Электричество", 1973, № 5
24. Прудков М.Л. О влиянии на натяжение нелинейностей вентильных электроприводов моталок / "Электротехника", 1973, № 9
25. Прудков М.Л. Синтез быстродействующего регулятора натяжения в двухконтурных системах управления электроприводом моталок / Инструкт. указ, по проектированию эл. технических промышленных установок, изд-во "Энергия", 1974, № 10
26. Прудков М.Л. О повышении производительности профилирующих станов / "Сталь", 1977, № 4
27. Прудков М.Л. Производительность и загрузка приводов профилирующих агрегатов при переменном скоростном режиме профилировании / "Электротехника", 1977, № 8
28. Крюков Д.К., Магидсон В.В., Прудков М.Л., Аксельрод Б.Э. К вопросу о цифровом моделировании непрерывных систем электроприводов по структурным схемам / Изв. вузов, Электромеханика, 1977, № 11
29. Прудков М.Л., Боддырев А.П., Савенко Г.П. Опыт проектирования и наладки электрооборудования стана кварто 500 / Реф.информ. "Монтаж и наладка эл. оборудования", ЦЕНТИ Минмонтажспецстрой СССР, 1978, № 8 (164)
30. Пружанский Д.И., Индицкий Б.М., Анисимов В.И., Рузанкин К.В., Ткаленко В.Г., Прудков М.Л. Автоматическое управление резанием полосы с повторяющимися гофрами / Механизация и автоматизация производства, 1978, № 10
31. Пружанский Д.И., Индицкий Б.М., Лозицкий С.А., Прудков М.Л., Ткаленко В.Г. Система управления мерной резкой профильной полосы / Бюллетень НТИ "Черная металлургия", М., Черметинформация, 1978, № 10
32. Пружанский Д.И., Индицкий Б.М., Лозицкий С.А., Ткаленко В.Г., Прудков М.Л. Система автоматического управления летучими ножами профилирующего агрегата / Инструктивные указания по проектированию эл. технических промышленных установок, изд-во "Энергия", 1978, № 11
33. Крюков Д.К., Прудков М.Л., Магидсон В.В., Аксельрод Б.Э. Расчеты нагрузок питающих линий перемоточных агрегатов / Изв. вузов, Электромеханика, 1978, № 12

34. Прудков М.Л. Исследование САР электроприводов перемоточных агрегатов / Электротехнич. промышленность, Сер. Электропривод, 1977, № 7 (60)
35. Прудков М.Л. Об энергетических показателях электроприводов летучих ножниц профилирующих агрегатов с различными законами управления / Минстр. указ. по проектированию эл. техн. промышл. установок, изд-во "Энергия", 1980, № 3
36. Прудков М.Л., Аксельрод Б.Э. Электропривод летучих ножниц с синусоидальным графиком скорости / Минстр. указ. по проект. эл. техн. пром. установок; Энергоиздат 1981, № 2
37. Прудков М.Л. Система управления электроприводами перематывающих устройств / Реф. сб. "Монтаж и наладка эл. оборудования" ЦЕНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1981, № 3, стр. 17
38. Аксельрод Б.Э., Крюков Д.К., Магидсон В.В., Прудков М.Л. Исследование динамики тиристорных электроприводов методами теории планирования эксперимента / Изв. вузов, Электромеханика, 1981, № 8
39. Аксельрод Б.Э., Крюков Д.К., Магидсон В.В., Прудков М.Л. Определение динамических показателей тиристорных электроприводов постоянного тока методами теории планирования эксперимента / "Электротехника", 1981, № 10
40. Прудков М.Л. Система управления электроприводами перематывающих устройств / Электротехн. пром-сть. Сер. Электропривод, 1982, вып. 2 (100), с. 24-26
41. Прудков М.Л., Фингарет М.А. АСУ ТП мерного пореза, разбраковки и учета электросварных труб на агрегатах АДС 20-76 / Тезисы доклада всесоюз. научно - техн. семинара "Повышение точности геометрических размеров труб с помощью АСУ ТП", М., 1983
42. Прудков М.Л. Некоторые узлы систем управления эл. приводами / Минстр. указ. по проект. электротехн. промышл. установок, Энергоатомиздат, 1983, № 5, стр. 13-16
43. Прудков М.Л. Измерение ЭДС и момента нагрузки электропривода постоянного тока / Электротехн. промышл. Сер. Электропривод, 1984, вып. 6 (128), с. 11-13
44. Прудков М.Л. Управление электроприводом постоянного тока в функции ЭДС с ограничением якорного напряженного / Эл. техн. пром., сер. Эл. привод., 1984, вып. 8 (130), с. 4-6

45. Прудков М.Л., Машкевич Ф.С., Фингарет М.А. Управление тиристорными приводами трубозлектросварочных агрегатов АДС 20-76 с применением микропроцессорного набора КТС ЛМУС-2 /Всесоюзное н.-техн.совещ. "Цифровые методы управления преобраз.уст.-ми и эл.прив.на их основе, "Тезисы докладов", Запорожье, 1984.
46. Прудков М.Л., Аксельрод Б.Э. Динамические характеристики САР частоты вращения воздействием на поток возбуждения электродвигателя /Инстр.указ. по проект.эл.техн.пром.шл.установок. Энергоатомиздат, 1984, № 3, с.5-13
47. Зарецкий М.Л., Прудков М.Л. Повышение надежности и точности цифровых методов измерения скорости эл.приводов /Сб."Новые электронные приборы и устройства", МДНП, 1985, с.55-60
48. Прудков М.Л., Аксельрод Б.Э. Исследование системы автоматического регулирования скорости двигателя воздействием на поток возбуждения /"Электротехника", 1986, № 3, с.44-47
49. Прудков М.Л. Повышение быстродействия астатических систем стабилизации скорости электропривода /Изв.вузов, Электромеханика, 1985, № 3, с.36-42
50. Прудков М.Л. Быстродействующая цифроаналоговая система стабилизации частоты вращения электропривода постоянного тока с микропроцессорным контуром управления /Сб."Применение микропроцессорных устройств в пром.эл.приводе", МДНП, 1985, с.47-52
51. Прудков М.Л. Ограничение перенапряжений регулируемых эл.приводов постоянного тока /"Электротехника", 1986, № 7, с.11-15
52. Прудков М.Л. Системы подчиненного регулирования электроприводов с параллельно-последовательной коррекцией /"Электричество, 1986, № 9, с.21-28
53. Прудков М.Л., Канторович Л.З., Левчинский Л.М., Вольхин Г.Д., Стеблевский А.П., Дехтярь Е.И. Микропроцессорное управление в системе электроприводов профилегибочного агрегата /Рес.н-техн. конф. "Современный металлургический эл.привод, автоматизация и САПР пром.установок", Тезисы докл. Харьков, 1986.
54. Прудков М.Л. Снижение нагрева и реактивной мощности тиристорного эл.привода летучих ножниц /"Промышленная энергетика", 1986, № 12, с.24-26

55. Прудков М.Л. Синтез астатической, квазиоптимальной по быстродействию системы стабилизации скорости эл. привода / "Электричество" 1987, № 3, с.62-64
56. Прудков М.Л. Оптимизация нелинейных систем автоматического регулирования (САР) частоты вращения и положения эл. приводов на основе комбинированного управления / Минструк. указ. по проект. электрот. промышл. установок, Энергоатомиздат, 1987, № 4, с.9-15
57. Прудков М.Л., Зарецкий М.Л. Система управления электроприводами режущих устройств на базе ООПКУ. 34-я научно-техн. конф. "Автоматизированный электропривод прокатных станков", Свердловск, 1990.

467407

AB 25.589