

УДК 62-83:004

А.С. Карандаев, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, декан,  
(3519) 29-84-34, [askaran@mail.ru](mailto:askaran@mail.ru) (Россия, Магнитогорск, МГТУ),  
В.Р. Храмшин, канд. техн. наук, доц., зам. декана, (3519) 29-84-34,  
[hvr\\_mgn@mail.ru](mailto:hvr_mgn@mail.ru) (Россия, Магнитогорск, МГТУ),  
И.Ю. Андрушин, гл. инженер УГЭ (3519) 29-84-34, [cetl\\_golovin@mmk.ru](mailto:cetl_golovin@mmk.ru)  
(Россия, Магнитогорск, ОАО «ММК»),  
В.В. Головин, канд. техн. наук, заслуженный энергетик РФ, нач.  
Центральной электротехнической лаборатории, (3519) 29-84-34,  
[cetl\\_golovin@mmk.ru](mailto:cetl_golovin@mmk.ru) (Россия, Магнитогорск, ОАО «ММК»),  
П.В. Шиляев, нач. центра ТОиР (3519) 29-84-34, [cetl\\_golovin@mmk.ru](mailto:cetl_golovin@mmk.ru)  
(Россия, Магнитогорск, ОАО «ММК»),  
С.А. Петряков, асп., (3519) 29-84-34,  
[hvr\\_mgn@mail.ru](mailto:hvr_mgn@mail.ru) (Россия, Магнитогорск, МГТУ),  
А.А. Лукин, асп., (3519) 29-84-34,  
[hvr\\_mgn@mail.ru](mailto:hvr_mgn@mail.ru) (Россия, Магнитогорск, МГТУ)

## **НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ И СИСТЕМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ**

*Рассмотрен комплекс разработанных и внедренных в ОАО «ММК» научно-технических решений по совершенствованию автоматизированных электроприводов и систем регулирования технологических параметров широкополосных станов горячей прокатки. Разработки направлены на повышение точности регулирования толщины и натяжения полосы, а также на уменьшения потерь электрической энергии без применения компенсирующих устройств.*

*Ключевые слова: точность регулирования толщины, прямое цифровое регулирование, потери электрической энергии.*

Выполнен комплекс научно обоснованных, технически исполненных и внедренных разработок по совершенствованию автоматизированных электроприводов и систем регулирования технологических параметров широкополосных станов горячей прокатки, включающий:

1. Комплексную модернизацию тиристорных электроприводов (ЭП) клеток и вспомогательных механизмов, обеспечивающую:

– перевод комплектных электроприводов с аналоговыми системами управления на прямое цифровое регулирование без замены силовой части преобразователя (аналогов подобной модернизации в мировой практике не было);

– полную замену всех локальных систем автоматизации первого уровня;

– внедрение сквозного для всего стана второго уровня автоматизации и интеграцию в корпоративную систему управления производством.

2. Разработку и реализацию систем и алгоритмов управления скоростными режимами электроприводов клетей непрерывной группы клетей, обеспечивающих улучшение качества полосы за счет повышения точности регулирования натяжения и поддержания заданного температурного режима прокатки.

3. Разработку и реализацию нового принципа построения высокодинамичных систем взаимосвязанного регулирования толщины и натяжения, обеспечивающих технические возможности производства горячекатаной полосы толщиной 0,8...2 мм, являющейся конечной продукцией прокатного передела.

4. Разработку и реализацию способа автоматического управления нажимными устройствами в составе САРТ, согласно которому осуществляется разведение нажимных устройств при захвате с последующим их возвращением в заданную позицию для прокатки основного участка полосы.

5. Разработку концепции построения энергоэффективных тиристорных электроприводов и создание на ее основе систем двухзонного регулирования скорости с переключающимися структурами, обеспечивающих улучшение энергетических показателей за счет снижения потребления реактивной мощности без применения компенсирующих устройств.

*Технико-экономическое обоснование реконструкции главных электроприводов широкополосного стана с заменой системы управления и сохранением силовой части*

Одним из направлений модернизации электрооборудования в ОАО «ММК» является замена устаревших аналоговых систем управления электроприводов постоянного тока на цифровые. Комплектные тиристорные электроприводы постоянного тока будут составлять большую часть электроприводов, использующихся в основных технологических установках еще в течение длительного времени. Авторским коллективом представленного доклада (при участии сотрудников ГОУ ВПО «МГТУ» и специалистов электрослужб ОАО «ММК») разработана идея модернизации, суть которой заключается в переводе комплектных электроприводов с аналоговыми системами управления на прямое цифровое регулирование без замены силовой части преобразователя. Выбор такого пути реконструкции объясняется следующими причинами:

– основную долю в стоимости электропривода составляет стоимость электродвигателя и силовых полупроводниковых элементов, в то время как замена только системы управления должна дать быстрый экономический эффект за счет увеличения надежности и улучшения качества регулирования;

– основная часть двигателей постоянного тока и силовых тиристорных блоков не выработала свой ресурс и может находиться в эксплуатации.

При технико-экономическом обосновании такого способа реконструкции электроприводов стана–2000 горячей прокатки сопоставлялись три варианта:

1. Реконструкция с заменой системы управления и сохранением существующей силовой части.
2. Реконструкция с полной заменой тиристорного преобразователя (на преобразователь фирмы «Siemens»).
3. Реконструкция с заменой двигателя постоянного тока на асинхронный двигатель с управлением от преобразователя частоты (комплектный тиристорный электропривод фирмы «Siemens»).

При оценке укрупненных капиталовложений в реконструкцию ЭП (табл. 1) учитывались: стоимость выбранного оборудования (согласно договорной цены фирмы-поставщика), стоимость инструментов и оборотных средств, транспортные расходы, дополнительные затраты на демонтаж, монтаж, техническую подготовку и наладку оборудования. В результате показано, что затраты по первому варианту в 5 раз ниже затрат по второму варианту и примерно в 20 раз ниже соответствующих затрат при третьем варианте реконструкции.

**Таблица 1**

**Результаты расчета капиталовложений, необходимых для вариантов реконструкции (тыс. руб.)**

Статья затрат	1-й вариант	2-й вариант	3-й вариант
Стоимость оборудования, $C_{OB}$	440,3	2106,0	79562
Стоимость инструментов и оборотных средств, $C_{ИНС}$ 5 %	22,0	105,3	3978,1
Транспортные расходы, $C_{ТР}$ 10 %	44,0	210,6	7956,2
Дополнительные затраты, $C_{ДЗ}$ 20 %	88,1	421,2	15912,4
<b>Капиталовложения</b>	<b>594,4</b>	<b>2843,1</b>	<b>107408,7</b>

Выполненное технико-экономическое обоснование, а также положительный опыт модернизации главных ЭП стана 2500 горячей прокатки позволили запланировать в 2011–2012 гг. проведение аналогичной реконструкции на стане 2000 ОАО «ММК». В настоящее время проводятся подготовительные и проектные работы. Расчетный экономический эффект от внедрения цифровых систем управления при сохранении силовой части составляет более 33 млн. руб./год.

**Обоснование промышленного внедрения разработанной системы взаимосвязанного регулирования натяжения и толщины**

Тенденцией развития широкополосных станов горячей прокатки является переход на производство горячекатаной полосы толщиной

0,8...2 мм, т.е. по геометрическим размерам приближающейся к продукции непрерывных станов холодной прокатки. Существующие локальные системы регулирования геометрических размеров, рассчитанные на прокатку более толстых полос от 2 до 10 мм, не обеспечивают выполнения технологических требований из-за влияния натяжения на толщину проката. Наиболее сильно это влияние проявляется в последних межклетевых промежутках.

Действующая система автоматического регулирования натяжения и высоты петли (САРНиП) стана 2500, как и аналогичные системы большинства отечественных станов обеспечивает заданную точность регулирования натяжения тонкой полосы лишь в установившихся технологических режимах. Значительное влияние на качество регулирования удельного натяжения в динамических режимах оказывают инерционности электромеханического петледержателя и механизмов прокатной клетки. Это не позволяет эффективно использовать ресурсы быстродействующей системы автоматического регулирования толщины, выполненной на базе современных гидравлических нажимных устройств.

В результате расширения сортамента прокатываемых полос диапазон регулирования натяжения существенно изменился и находится в пределах 0,5...17 Н/мм<sup>2</sup>. Соответственно изменились и допустимые отклонения удельного натяжения, не более  $\pm 0,05$  Н/мм<sup>2</sup>. Разнотолщинность полосы после установки гидравлических нажимных устройств на 10 и 11 клетях стана и включения в работу новой системы регулирования толщины на их основе не должна превышать 0,075...0,09 мм (до реконструкции разнотолщинность составляла 0,1...0,14 мм), что при прокатке полосы 1,5...2 мм составляет 3,7...5 %. Кроме того, переход на тонкий сортament связан с увеличением скоростей прокатки. Если при прокатке полосы толщиной 2 мм скорость на выходе чистовой группы не превышала 13 м/с, то для полос толщиной 1,5...1,8 мм она достигает 20 м/с.

С целью улучшения показателей регулирования натяжения в динамических режимах разработана САРНиП с прямым регулированием натяжения и компенсацией взаимного влияния систем регулирования положения петледержателя и натяжения с помощью перекрестных связей. Наиболее близким известным аналогом является система фирмы «Mitsubishi», разработанная для стана «Mizushima Works» (Япония) [1].

Исследованы свойства предлагаемой САРНиП в режимах захвата полосы последующей клетью, а также в динамических режимах при изменениях скорости клетей и перемещения нажимных устройств. В табл. 2 приведены результаты оценки отклонений удельного натяжения для известной и предлагаемой систем при изменении положения петледержателя на 1° при прокатке полос различной толщины.

Во всех межклетевых промежутках отклонения удельного натяжения в предлагаемой системе практически на порядок ниже чем в существ-

вующей. По времени регулирования (0,45...0,5 с) предлагаемая система также оказывается более предпочтительной по сравнению с существующей (0,8...0,9 с). Аналогичные результаты получены при исследовании переходных процессов при других возмущающих воздействиях.

**Таблица 2**

**Величины отклонений удельного натяжения в известной и предлагаемой системах при захвате полосы последующей клетью**

Промежуток	Система	Время регулирования, с	Максимальное отклонение удельного натяжения $\Delta\sigma$ , МН/м <sup>2</sup>			Перерегулирование удельного натяжения, %		
			2 мм	4 мм	8 мм	2 мм	4 мм	8 мм
4	Существующая	1,2...1,5	1,1	2,5	2	22,0	62,5	66,7
	Предлагаемая	0,6...0,8	0,45	0,18	0,45	9,0	4,5	15,0
5	Существующая	1,2...1,5	1,5	2,6	2,2	18,7	43,3	55,0
	Предлагаемая	0,6...0,8	0,45	0,25	0,55	5,6	4,0	13,7
6	Существующая	1,2...1,5	2	2,5	4,1	13,3	19,2	37,3
	Предлагаемая	0,6...0,8	0,45	0,2	1,5	3,0	1,5	13,6

В целом, по результатам исследований доказано, что при прокатке тонких полос предлагаемая система обеспечивает выполнение требования отклонения натяжения в пределах  $\pm 10\%$  во всех динамических режимах, что соответствует предъявляемым требованиям. Кроме того, доказано, что в разработанной системе с перекрестными связями уменьшение момента инерции петледержателя не оказывает заметного влияния на показатели переходных процессов натяжения. Поэтому улучшение показателей регулирования обеспечивается на существующем оборудовании без замены инерционных электромеханических петледержателей. Использование петледержателей с малым моментом инерции (в том числе – гидравлических) в предлагаемой системе, в отличие от существующей, не является целесообразным.

*Обоснование промышленного внедрения разработанных тиристорных электроприводов с улучшенными энергетическими показателями*

Большинство отечественных широкополосных станов горячей прокатки оснащено электроприводами постоянного тока с двухзонным регулированием скорости. Основная причина ухудшения их энергетических показателей вызвана потреблением реактивной мощности, связанным с фазовым регулированием выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя (ТП). Стремление улучшить энергетические показатели тиристорных ЭП без применения компенсирующих устройств привело к

разработке систем управления, позволяющих уменьшить величину требуемого запаса выпрямленной ЭДС ТП.

С целью улучшения энергетических показателей разработана концепция систем двухзонного регулирования, в основу которой положен принцип перераспределения запаса выпрямленной ЭДС ТП в установившемся и динамических режимах, вызванных изменением нагрузки ЭП. Это позволяет уменьшить величину запаса за счет более рационального его использования. В рамках названной общей концепции предложены способ и система зависимого управления потоком возбуждения в функции выпрямленной ЭДС. Разработаны способ и система двухзонного регулирования с переключением координаты, регулируемой по цепи возбуждения.

В табл. 3 представлены результаты расчета потерь электрической энергии для электроприводов клеток чистовой группы стана 2000 при внедрении разработанной системы двухзонного регулирования. Как видно из табл. 3, снижение потерь мощности и электроэнергии при прокатке полосы заданного профиля составляет не менее 7 %, годовая экономия электрической энергии от внедрения мероприятий по уменьшению потребления реактивной составляющей – 2,9 млн кВт·ч/год.

**Таблица 3**

**Результаты расчета энергетических показателей  
для электроприводов клеток чистовой группы**

Параметр	Значения по клетям чистовой группы стана 2000 г/п						
	7	8	9	10	11	12	13
Тип двигателя	2МП14200 50У4		2МП14200 125У4		2МП14200 200У3		2МП11200 300У3
Номинальная мощность, кВт	2x6300	2x6300	2x7100	2x7100	2x7100	2x7100	2x7100
$I_{di}, A$	8188	9484	11398	11344	10412	9930	9406
$I_{di}/I_{dHi}$	0,51	0,58	0,71	0,73	0,7	0,72	0,78
$I'_{di}, A$	8188	9484	11398	11344	10412	9930	9406
$Q_i, MVar$	6,24	7,22	8,68	8,64	7,93	7,56	7,16
$Q'_i, MVar$	5,79	6,7	8,06	8,02	7,36	7,02	6,65
$P_{Qi}, кВт$	748,8	866,4	1041,6	1036,8	951,6	907,2	859,2
$P'_{Qi}, кВт$	694,8	804	967,2	962,4	883,2	842,4	798
$P_{Qi}, кВт$	54	62,4	74,4	74,4	68,4	64,8	61,2
$\Delta P_{Qi}, \%$	7,2	7,4	7,14	7,2	7,2	7,14	7,12

Для вновь проектируемых ЭП улучшение энергетических показателей при применении рассмотренной системы двухзонного регулирования обеспечивается за счет рационального выбора вторичного напряжения преобразовательного трансформатора. По сравнению с напряжением, принимаемым в известных электроприводах подобного класса, его рекомендуется снизить на 10...12 %. Это позволяет уменьшить потребление реактивной мощности на 7...10 %, т.е. практически без капитальных затрат добиться значительного снижения потерь электрической энергии. Для главных электроприводов эксплуатируемых станов практически тот же эффект может быть обеспечен за счет переключения отпаек вторичных обмоток трансформаторов.

В результате выполнения исследований, представленных в докладе, разработаны научно обоснованные принципы построения автоматизированных электроприводов, алгоритмы и системы управления широкополосных станов горячей прокатки. Суммарный экономический эффект от внедрения представленных разработок на станах 2000 и 2500 ОАО «ММК» составляет 21,3 млн руб./год, ожидаемый расчетный экономический эффект – более 33 млн руб./год.

Внедрение результатов в листопрокатное производство расширяет возможности действующих и вновь создаваемых листопрокатных агрегатов, способствует повышению экономической эффективности производства, его ресурсо- и энергосбережению, повышению конкурентоспособности продукции.

### Список литературы

1. Hamada K. Finishing mill tension control system in the Mizushima hot strip mill // Kawasaki steel technical report. 1985. №11. P. 35–43.

*A. Karandaev, V. Xramshin, I. Andryushin, V. Golovin, P. SHilyaev, S. Petryakov, A. Lukin  
New technical solutions in electric drives and regulating systems of technological parameters of broad-strip mills of a hot rolling*

*The complex of the scientific and technical solutions developed and introduced in open joint-stock company "ММК" on perfection of automatic electric drives and regulating systems of technological parameters of broad-strip mills of a hot rolling is observed. Designs are directed on raise of accuracy of regulating of a thickness and strip tensioning, and also on decrease of losses of electric energy without application of compensating arrangements.*

*Keywords: accuracy of regulating of a thickness, direct digital regulation, losses of electric energy .*

Получено 06.07.10