

АННОТАЦИЯ

Металлургические предприятия потребляют около 14% топлива и 12% электроэнергии, вырабатываемой в России. В себестоимости металла доля энергетических ресурсов растет и за последнее десятилетие увеличилась с 18% до 40–45%. Это сокращает возможности продвижения металла как на внутреннем, так и на внешнем рынках. Программе реформирования энергетики РФ, созданию конкурентной среды полностью соответствует энергетическая политика ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»), который в настоящее время является признанным лидером на рынке металлургической продукции России и успешно работает на зарубежном рынке.

Наиболее остро стоит проблема снижения потерь электрической энергии, связанных с работой мощных тиристорных электроприводов прокатных станов. Достаточно отметить, что установленная мощность электрооборудования широкополосного стана 2000 горячей прокатки ОАО «ММК» составляет 362 МВА. Годовое потребление электроэнергии листопрокатным цехом № 10 (ЛПЦ-10) превышает 390 млн. кВт·ч. Единичная мощность электропривода клетки чистовой группы превышает 14 МВт. Энергетические показатели подобных приводов далеки от оптимальных, поэтому поиск резервов экономии электрической энергии в данных потребителях является актуальной научной и практической задачей.

Абсолютное большинство отечественных станов горячей прокатки оснащено тиристорными электроприводами (ЭП) постоянного тока с двухзонным регулированием скорости. Основная причина ухудшения их энергетических показателей вызвана потреблением реактивной мощности, связанным с фазовым регулированием выпрямленного напряжения. Уровень реактивной мощности находится в прямой зависимости от величины запаса выпрямленной ЭДС тиристорного преобразователя (ТП), т.е. от разности между максимальной выпрямленной ЭДС при нулевом угле управления и фактической выпрямленной ЭДС в установившемся режиме работы под нагрузкой.

Цель выполняемой научно-исследовательской работы является разработка тиристорных электроприводов клеток широкополосных прокатных станов с двухзонным регулированием скорости вращения с улучшенными энергетическими показателями и неизменными, в сравнении с существующими электроприводами, динамическими характеристиками и показателями надежности.

Целью первого этапа НИР являются выбор и обоснование направлений снижения потребления электрической энергии при производстве листового проката на отечественных металлургических предприятиях. Ставится задача снижения электрических потерь за счет уменьшения потребления реактивной мощности без применения компенсирующих устройств. Ее выполнение должно быть обеспечено за счет схемотехнических решений в системах управления электроприводов, т.е. практически без капитальных затрат.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие **задачи этапа**:

1. Выполнить патентный и литературный обзор, направленный на исследование требований, предъявляемых к электроприводам современных прокатных станов, выявление существующих методов и технических решений, направленных на улучшение энергетических характеристик тиристорных электроприводов, анализ разработанных ранее систем двухзонного регулирования скорости, оценку их динамических и энергетических характеристик.

2. Выполнить экспериментальные исследования энергетических характеристик электроприводов широкополосных прокатных станов 2000 и 2500 ОАО «ММК». Выяснить причины их ухудшения.

3. Оценить потери электрической энергии в существующих электроприводах прокатных станов. Выполнить анализ резервов энергосбережения за счет совершенствования автоматизированных электроприводов и систем управления. Обосновать направления разработки тиристорных электроприводов с улучшенными энергетическими и неизменно высокими динамическими показателями.

4. Дать сравнительную оценку ожидаемых энергетических характеристик разрабатываемых и существующих электроприводов. Выполнить технико-экономическое обоснование совершенствования автоматизированных электроприводов и систем управления действующих прокатных станов.

В соответствии с поставленными задачами выполнен анализ существующих способов снижения потерь электрической энергии при производстве листового проката на отечественных металлургических предприятиях. **Подготовлен отчет по патентным исследованиям.** Объектами патентных исследований, для которых может быть представлена правовая охрана в соответствии со статьей 1225 ГК РФ, явились: 1) электроприводы постоянного тока с улучшенными энергетическими характеристиками; 2) способы и системы двухзонного регулирования скорости тиристорных электроприводов постоянного тока. По результатам патентного и литературного обзора установлено, что в известных системах двухзонного регулирования скорости улучшение энергетических показателей электроприводов может быть обеспечено только за счет существенного снижения их быстродействия, что для ЭП клеток прокатного стана не может быть признано допустимым.

Выполнены экспериментальные исследования энергетических показателей и качества напряжения на шинах 10 кВ станов 2000 и 2500. На основании анализа графиков нагрузки определены диапазоны изменения активной и реактивной мощностей по каждой из трех секций 10 кВ. Установлено, что соотношение этих мощностей в рабочих режимах находится в пределах 1,15–2, что является нежелательным с точки зрения устойчивости работы электроприводов.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования воздействия тиристорных ЭП клеток чистовой группы стана 2000 на питающую сеть. Показано, что дефицит реактивной мощности составляет 90 Мвар, что

приводит к снижению коэффициента мощности и дополнительным потерям электрической энергии. Установлено, что максимальная пиковая нагрузка секций РУ-10 кВ в нормальном режиме работы превышает 51 МВА, колебания реактивной мощности достигают 10–15 Мвар, максимальные реактивные нагрузки по секциям более 20 Мвар, в связи с чем разработка мероприятий по снижению потребления реактивной мощности является актуальной.

Выполнен анализ резервов энергосбережения за счет совершенствования автоматизированных электроприводов и систем управления. Доказано, что ухудшение энергетических показателей тиристорных ЭП клетей прокатных станов связано с необходимостью поддержания динамического запаса выпрямленной ЭДС. Электропривод прокатного стана должен обеспечить выполнение противоречивых требований: с одной стороны – обеспечивать надежную работу электропривода за счет достаточного запаса по напряжению, а с другой стороны – работать с минимальным потреблением реактивной мощности. Как свидетельствуют материалы проектирования и эксплуатации, эти вопросы решаются в одностороннем порядке: электроприводы работают со значительным потреблением реактивной мощности, что приводит к неоправданным потерям электроэнергии.

Характерные динамические режимы главных ЭП клетей широкополосных станов непосредственно связаны с особенностями технологического процесса. Наиболее тяжелыми динамическими режимами являются:

- режим ударного изменения нагрузки в момент захвата полосы;
- разгон при постоянной статической нагрузке (при наличии металла в валках), возникающий при прокатке с ускорением.

Тиристорный преобразователь как элемент электропривода обеспечивает безаварийную отработку динамических режимов и высокие динамические показатели при достаточном запасе выпрямленной ЭДС.

Вторым условием, определяющим величину запаса ЭДС ТП, являются отклонения напряжения питающей сети. Представлены осциллограммы изменения тока нагрузки и отклонений напряжения секции шин 10 кВ чистой группы стана 2500, из которых следует, что после захвата металла последней клетью уровень напряжения снижается на 5–8%. Уровень отклонений напряжения сети, не связанных с нагрузкой ЭП (случайных), достигает $1,5 \div 2,5\%$ номинального значения. Полученные результаты подтверждают информацию о том, что отклонения напряжения сети, питающей ЭП станов горячей прокатки, достигают 10% в сторону уменьшения и должны учитываться при расчете запаса выпрямленной ЭДС ТП.

Величина запаса выпрямленной ЭДС для электропривода стана 2000 составляет 23,6% максимальной выпрямленной ЭДС или 27,1% номинального выпрямленного напряжения. Уровень реактивной мощности при номинальном токе нагрузки составляет около 5 МВАр (на клеть). Проведенные расчеты показали, что при среднегодовой загрузке стана в течение 7000 час потери электрической энергии, связанные с потреблением реактивной мощности, составляют 5–7 млн. кВт ч/год. Такие потери электрической энергии в существующих условиях являются оправданными, т.к. недостаточный за-

пас выпрямленной ЭДС при совпадении неблагоприятных факторов вызывает размыкание контура регулирования скорости вследствие насыщения тиристорного преобразователя. Это приводит к потере управляемости двигателя, что в условиях непрерывного технологического процесса является аварийным режимом.

Таким образом, в результате исследований показано, что **основным резервом энергосбережения в тиристорных ЭП прокатных станов** является снижение запаса выпрямленной ЭДС тиристорного преобразователя. При этом должны выполняться два важнейших дополнительных условия, это: обеспечение требуемого высокого быстродействия электропривода в динамических режимах и сохранение его надежности на заданном неизменном уровне. Особенностью электроприводов с двухзонным регулированием скорости является возможность формирования необходимого запаса за счет оптимального регулирования тока возбуждения и соответственно ЭДС электродвигателя.

В качестве основных направлений разработки энергосберегающих электроприводов прокатных станов обоснованы:

1) Разработка систем двухзонного регулирования скорости, обеспечивающих ограничение выпрямленной ЭДС ТП на номинальном уровне независимо от нагрузки электропривода.

2) Разработка способов и систем двухзонного регулирования скорости с переключающимися структурами, обеспечивающими снижение запаса выпрямленной ЭДС ТП за счет его перераспределения в установившемся и динамических режимах.

В рамках выполняемой НИР ведется разработка способов и устройств управления тиристорными электроприводами клетей прокатных станов, реализующих названные принципы и обеспечивающие улучшение энергетических показателей за счет уменьшения запаса выпрямленной ЭДС ТП, в частности системы двухзонного регулирования с переменной уставкой ЭДС. Ведется разработка способа независимого управления потоком возбуждения в функции выпрямленной ЭДС ТП, суть которого заключается в том, что задающее воздействие на регулятор внешнего контура в цепи возбуждения формируется пропорциональным номинальной выпрямленной ЭДС тиристорного преобразователя.

Выполнено сопоставление ожидаемых энергетических характеристик разрабатываемых и существующих электроприводов. Дано технико-экономическое обоснование совершенствования автоматизированных электроприводов действующих прокатных станов.

В результате сопоставления энергетических характеристик разрабатываемых и существующих электроприводов показано, что за счет внедрения разрабатываемых систем двухзонного регулирования скорости на стане 2000 ожидаемая экономия электрической энергии составит около 3 млн. кВт·ч/год. Аналогичная экономия будет достигнута за счет совершенствования автоматизированных электроприводов стана 2500 ОАО «ММК». Ожидаемые ре-

зультаты могут быть распространены на другие действующие станы горячей прокатки.

Основные результаты первого этапа:

1. Показано, что основной причиной ухудшения энергетических показателей тиристорных электроприводов прокатного стана является поддержание запаса выпрямленной ЭДС на уровне 22–25 % максимальной выпрямленной ЭДС тиристорного преобразователя. Определяющим с точки зрения запаса является режим отработки ударного приложения нагрузки, происходящий при захвате металла валками и сопровождающийся перерегулированием выпрямленной ЭДС в пределах 16–22%.

2. Установлено, что величина реактивной мощности тиристорного электропривода чистой клетки широкополосного стана 2000 горячей прокатки при номинальном токе нагрузки составляет около 5 МВАр (на клетку), что приводит к потерям электрической энергии в пределах 5–7 млн. кВт ч/год.

3. Обоснованы направления совершенствования автоматизированных электроприводов прокатных станов: 1) разработка и реализация способа независимого регулирования потока возбуждения в функции выпрямленной ЭДС тиристорного преобразователя; 2) разработка способов и систем двухзонного регулирования скорости с переключающимися структурами, обеспечивающими снижение запаса выпрямленной ЭДС за счет его перераспределения в установившемся и динамических режимах.

Разрабатываемые системы наряду с улучшением энергетических показателей должны обеспечивать жесткие требования, предъявляемые к динамическим характеристикам и показателям надежности электроприводов.

4. В результате сопоставления энергетических характеристик разрабатываемых и существующих электроприводов показано, что за счет внедрения предлагаемых систем двухзонного регулирования скорости на стане 2000 ожидаемая экономия электрической энергии составит около 3 млн. кВт·ч/год. Ожидаемые результаты могут быть распространены на другие действующие станы горячей прокатки.

Научная значимость результатов состоит в обосновании и выборе концептуальных направлений разработки энергосберегающих тиристорных электроприводов непрерывных прокатных станов, обеспечивающих снижение потребления реактивной мощности в результате совершенствования алгоритмов управления без применения компенсирующих устройств.

Руководитель работ по проекту
профессор кафедры
электротехники и
электротехнических систем
ГОУ ВПО «МГТУ»

Карандаев А.С.

___ октября 2010 г.

М.П.