

**УДК 658.52.001:621.771.06:62-503.55:622.73.001.67**

**В.Н. Куваев, В.А. Чигринский, Ю.П. Карпинский, Я.Г. Куваев, Д.А. Иванов,  
И.В. Политов**

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРОКАТНОМ И ГОРНОРУДНОМ  
ПРОИЗВОДСТВАХ**

Розглянуто основні напрями робіт, що виконуються Науково-технічним центром автоматизації технологічних процесів у гірничому і металургійному виробництвах Національного гірничого університету.

Рассмотрены основные направления работ, выполняемых Научно-техническим центром автоматизации технологических процессов в горном и металлургическом производствах Национального горного университета.

Considered the fundamental directions of works that are realized at Scientific-Technical center of automation the technological processes based at National Mining University.

Достаточно неожиданное сочетание прокатного и горнорудного производств в настоящей статье объясняется достаточно просто – это основные научные направления работы Научно-технического центра автоматизации технологических процессов в горном и металлургическом производствах НГУ. Он был создан в 2005 г. на базе научно-исследовательской группы кафедры электроники и вычислительной техники. Основу кадрового состава Центра составили бывшие сотрудники НИИАчермет и ИЧМ (рис. 1), что и определило научные направления исследований и тематику выполняемых центром работ.

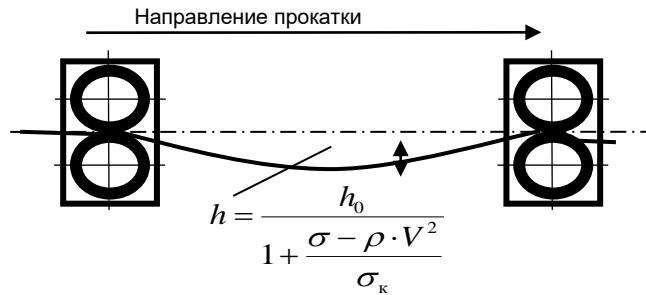
Наиболее востребованными в настоящее время являются работы по автоматизации мелкосортных и проволочных станов благодаря активной инновационной политике, которую проводил комбинат «Криворожсталь», а ныне продолжает ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Поэтому рассмотрим сначала перспективные направления автоматизации производства сортового проката.



Рис. 1. Исторические корни Научно-технического центра автоматизации технологических процессов в горном и металлургическом производствах

Основными задачами, которые решает технологическая автоматизация непрерывных сортопрокатных станов, являются настройка и поддержание рациональных режимов ведения технологического процесса, минимизация потерь металла, сокращение внеплановых простоев. Традиционными системами технологической автоматизации непрерывных сортовых станов являются системы управления скоростным режимом прокатки и системы раскрытия проката [1]. Система управления скоростным режимом прокатки является основной системой технологической автоматизации непрерывного сортового стана. В СССР разработкой таких систем занимались НИИАчермет и Институт черной металлургии (ИЧМ) [1-8]. В настоящее время работы в данном направлении ведутся в Национальном горном университете [9, 10] – в Научно-техническом центре автоматизации технологических процессов в горном и металлургическом производствах. Развитие данных систем основывается на возможностях технических средств и тесно связано с повышением требований потребителей к показателям качества металлопродукции и ужесточением требований по энерго- и ресурсосбережению на металлургических предприятиях по мере совершенствования технических средств. До 90-х

годов прошлого века основной задачей систем управления скоростным режимом прокатки являлось облегчение ручной настройки скоростного режима прокатки оператором и получение поперечных геометрических размеров проката в требуемом поле допусков. Эта задача эффективно решалась локальными аналоговыми системами автоматической стабилизации режима прокатки (системы АСРП) за счет поддержания свободного прогиба проката в одном-трех последних межклетевых промежутках (рис. 2).



*Рис. 2. Прокатка с автоматической стабилизацией сводного прогиба проката*

Ручная настройка скоростного режима прокатки осуществлялась с использованием первоначально аналоговых, а затем цифровых микропроцессорных систем задания скорости. Погрешность задания и согласованного изменения частоты вращения приводов клетей цифровыми системами составляла 1 об/мин, что соответствовало граничным возможностям оператора по точности настройки скоростного режима прокатки.

Однако уже с начала 90-х годов в мировой практике появилась устойчивая тенденция к повышению точности поперечных размеров сортового проката [11-13]. Использование чистовых блоков и калибрующих клетей обеспечило разброс поперечных размеров круглого проката в пределах  $\pm 0,1$  мм. Такая тенденция связана с тем, что основной объем круглого сортового проката, производимого в мотках, подвергается дальнейшей калибровке, а повышение стабильности и точности поперечных размеров проката позволяет повысить стабильность процесса волочения, уменьшить количество проходов и расход волок, то есть обеспечивает сокращение энергозатрат и потерь металла в метизном переделе.

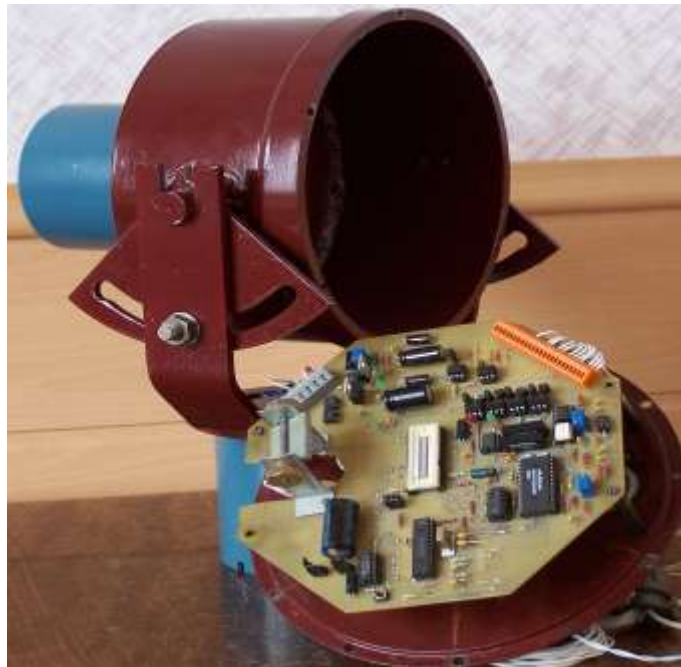
Перспективным направлением повышения точности поперечных размеров круглого проката на действующих станах является повышение точности настройки скоростного режима прокатки за счет совершенствования систем управления скоростным режимом прокатки.

При производстве мелкосортного проката данная задача была нами решена за счет увеличения количества межклетевых промежутков с автоматической стабилизацией прогиба до шести и более, а также автоматической настройки в них скоростного режима прокатки [6, 7, 9, 10]. Это позволило добиться точности поперечных геометрических размеров проката, производимого на действующих непрерывных прокатных станах, на уровне проката, производимого на современных зарубежных станах.

Автоматическая настройка скоростного режима прокатки позволила минимизировать динамику регулирования скоростного режима прокатки при автоматической стабилизации прогиба в межклетевых промежутках и обеспечила настройку скоростного режима прокатки в них после перевалок и переходов на первой заготовке при минимальном участии оператора. Фактически, одновременно с задачей повышения точности поперечных размеров мелкосортного проката была решена и задача минимизации потерь металла и времени на настройку скоростного режима непрерывной прокатки.

Однако осталась задача повышения стабильности геометрических размеров арматурного проката, производимого по технологии слитинг-процесса и прокатки с разделением. Решить данную задачу можно путем создания технических средств (датчиков), позволяющих контролировать положение одновременно двух или более раскатов, что дает возможность использовать прокатку с автоматической стабилизацией свободного прогиба проката в чистовых группах клетей при использовании в них данных технологий [8].

Такой датчик был разработан и испытан в производственных условиях специалистами НГУ (рис. 3).



*Рис. 3. Оптоэлектронный преобразователь положения горячего проката (датчик петли/прогиба) для контроля многониточной прокатки*

При производстве средне- и крупносортного проката проблема повышения точности его поперечных размеров пока еще не столь актуальна, как при производстве мелкосортного проката и катанки. Это связано с тем, что основные его потребители – машиностроение и строительная промышленность – не получают сколь-нибудь заметной экономии от такого повышения, и поля допуска на поперечные размеры для такого проката достаточно велики.

Тем не менее, решение задачи по автоматизации настройки скоростного режима непрерывной прокатки крупных профилей представляет интерес как для средне- и

крупносортных станов, так и для черновых групп клетей мелкосортных станов. Погрешности настройки скоростного режима являются основными технологическими возмущениями при непрерывной прокатке [14]. Уменьшение технологических возмущений благоприятно влияет на смежные технологические операции, в частности, способствует повышению точности порезки проката летучими ножницами и таким образом позволяет сократить потери металла, связанные с этой операцией.

Задача настройки скоростного режима прокатки это, по сути, задача выбора такого скоростного режима прокатки, при котором межклетьевые усилия в прокате были бы минимально возможными. При производстве профилей большого сечения для решения данной задачи необходимо совершенствование способов идентификации величин межклетьевых усилий в прокате. Возможные способы идентификации межклетьевых усилий при сортовой прокатке рассмотрены в [15]. Однако исследования на модели [16] и в производственных условиях [4] показали, что их использование в «классическом виде» позволяет осуществлять только «грубую» настройку скоростного режима прокатки. Поэтому автоматическое управление скоростным режимом прокатки, основанное на косвенных методах контроля межклетьевых усилий используется, в основном, для начальной настройки скоростного режима прокатки. В дальнейшем, в процессе прокатки, опытные операторы в ручном режиме проводят «тонкую» настройку скоростного режима прокатки.

Работы по повышению точности автоматической настройки скоростного режима прокатки профилей больших сечений проводятся в настоящее время в НГУ [17]. Они направлены, прежде всего, на получение более полной информации о величине межклетьевых усилий в процессе прокатки на основе ситуационной статистической обработки контролируемых параметров и переход от поддержания (стабилизации) заданных межклетьевых усилий к итерационному выбору рационального скоростного режима прокатки. Под рациональным скоростным режимом прокатки понимается такой режим, при котором изменения (колебания) межклетьевых усилий в процессе прокатки заготовки минимальны и находятся в заданном диапазоне. Их практическое использование предлагается осуществить на базе действующей системы управления скоростным режимом прокатки [9, 10].

Существенное влияние на показатели качества товарной продукции оказывают системы управления раскромом проката. Их эффективность характеризуется косвенными потерями проката, или, используя терминологию стандартов ISO 9000, долей несоответствующей продукции, т.е. продукции с пониженными показателями качества.

При производстве сортового проката в стержнях – только в этом случае используют системы раскроя – условиями заказа оговариваются требования к длинам стержней в пачках. Все крупные заказы предусматривают поставку проката в стержнях заданной, мерной длины.

В процессе производства стержней образуются и стержни немерной длины, которые реализуются по пониженным ценам.

Как показали исследования, проведенные в ИЧМ, существенное влияние на выход меры оказывает алгоритм составления раскройного плана – способ раскроя. Другой фактор, определяющий выход меры – точность реализации раскройного плана, которая значительно зависит от типа и конструктивных особенностей летучих ножниц. Третий фактор – точность укладки прутков на холодильнике. Она определяет величину зачистного реза пакета прутков за холодильником. При зачистном резе образуется некондиционный прокат, т.е., по сути, точность укладки прутков на холодильнике определяет неизбежные потери мерной продукции при производстве проката в прутках.

В НГУ были проведены исследования, направленные на разработку принципов управления операциями производства проката в стержнях, которые обеспечивают максимально возможный выход мерного проката при любом составе оборудования выходной стороны сортопрокатного стана [18]. При реализации разработанных принципов управления относительная величина потерь мерной продукции не превышает отношения мерной длины к

длине проката одной заготовки на выходе из выпускной клетки. Если на стане предусмотрено оборудование для торцевания прутков, либо прутки торцуются «под упор» перед порезкой на стержни, и для раскроя проката на прутки используются старт-стопные летучие ножницы, то относительная величина потерь мерной продукции должна быть примерно равной отношению половины мерной длины к длине проката.

Перспективным направлением автоматизации производства арматурного проката также является разработка средств и методов контроля и настройки процесса его термоупрочнения.

Арматурный прокат – наиболее массовый вид сортопрокатной продукции. Процесс термоупрочнения позволяет сократить использование дорогостоящих легирующих элементов для получения требуемого комплекса механических свойств [19] арматурного проката. Однако такой прокат имеет повышенный разброс механических свойств [20]. Отечественный стандарт на арматурный прокат класса А500С гармонизирован с технологией его производства и допускает повышенные допуски на отклонения ряда параметров от их номинальных значений. Так, например, временное сопротивление разрыву арматурного проката может превышать номинальное значение до  $300 \text{ Н/мм}^2$ , тогда как старым стандартом СССР допускалось превышение до  $200 \text{ Н/мм}^2$ . Современные зарубежные стандарты дают еще более жесткие допуски.

Повышенный разброс механических свойств термоупрочненного проката связан с многофакторной зависимостью комплекса механических свойств товарного проката от химического состава и условий термомеханической обработки заготовки. Фактически, для уменьшения разброса механических свойств термоупрочненного проката, режим термоупрочнения должен выбираться исходя из химического состава прокатываемой стали и температурно-скоростных параметров прокатки. При настройке режима термоупрочнения необходимо учитывать неравномерность температуры и условий охлаждения проката по его длине и возможные отклонения химического состава заготовок от среднеплавочного из-за ликваций химических элементов в слитке. Поэтому в дальнейшей перспективе использование при производстве арматурного проката ресурсосберегающей технологии – процесса термоупрочнения – требует обеспечения эффективного автоматизированного контроля данного процесса.

Одним из направлений решения данной задачи является использование электромагнитного метода для автоматизированного контроля процесса термоупрочнения. Работы в данном направлении проводились в ИЧМ и НИИАчермет, в настоящее время ведутся в НГУ [21-24]. Разработанные в Научно-техническом центре автоматизации технологических процессов НГУ экспериментальные технические средства электромагнитного контроля процесса термоупрочнения (рис. 4) уже длительное время успешно эксплуатируются на непрерывных прокатных станах ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог».



Рис. 4. Технические средства электромагнитного контроля процесса термоупрочнения арматурного проката – индикатор магнитной фазы (контроллер датчик магнитной фазы)

Дальнейшее совершенствование автоматизированного контроля процесса термоупрочнения на основе электромагнитного метода продолжается в трех основных

направленнях – совершенствование технических средств электромагнитного контроля, разработка новых принципов электромагнитного контроля и развитие методологии контроля процесса термоупрочнения арматурного проката.

Если при автоматизации процессов производства сортопрокатного производства основными задачами является обеспечение высоких показателей качества товарной продукции и сокращение непроизводственных потерь, то развитие автоматизации процессов обогащения железорудного сырья направлено на сокращение удельных затрат электроэнергии при производстве железорудного концентрата.

Затраты электроэнергии на измельчение руды в шаровых мельницах и мельницах самоизмельчения составляют от 40 до 60% потребления горно-обогатительного комбината (ГОКа).

Анализ работы секций обогащения показывает, что удельные затраты электроэнергии на измельчение железной руды колеблются в пределах 10-15% при стабилизированных плотностных режимах работы замкнутых циклов измельчения. Эти колебания происходят вследствие дрейфа физико-механических свойств измельчаемой руды, стирания и разрушения измельчающих тел, износа брони мельницы.

Возможности и условия для усреднения физико-механических свойств руды перед измельчением, как это делается за рубежом, на отечественных комбинатах являются скорее исключением. Да и сам процесс усреднения требует достаточно значительных финансовых затрат.

Для решения этой проблемы в НГУ проводятся исследования по оперативному выбору и уточнению технологических режимов замкнутого цикла измельчения железорудного сырья, обеспечивающего необходимое раскрытие полезного минерала с минимальными удельными затратами электроэнергии [25, 26].

Анализ данных работы секции № 6 Ингулецкого ГОКа показал, что использование результатов исследований для автоматизированной настройки режима измельчения первой стадии измельчения позволит сократить удельные затраты электроэнергии на 5-10%.

Научно-технический центр автоматизации технологических процессов в горном и металлургическом производствах ведет поиск объекта для полномасштабного испытания данной разработки. Такое испытание предполагается провести в рамках бюджетных работ, а внедрение – по договорам после анализа результатов испытаний.

Перспективным направлением автоматизации процессов обогащения железорудного сырья является разработка системы контроля крупности железной руды на выходе дробильной фабрики.

Поскольку процесс дробления с энергетической точки зрения, более экономичный, чем процесс измельчения, желательнее обеспечить минимально возможную величину крупного класса руды на выходе дробильной фабрики.

Система контроля крупности железной руды позволяет оперативно установить изменение режима дробления железной руды вследствие износа футеровки, а также сократить время настройки оборудования на требуемую крупность дробления.

Результаты работ по созданию такой системы предполагается предложить к внедрению в конце 2009 года.

### Список литературы

1. Автоматизация непрерывных мелкосортных станов / Праздников А.В., Егоров В.С., Гринберг С.Д. и др. – М.: Металлургия, 1975. – 216 с.
2. Стабилизация режима прокатки мелкого сорта с натяжением. / С.Д. Гринберг, Ю.П. Карпинский, О.Н. Кукушкин и др. // Автоматизация металлургического производства. – 1973. – № 1. – С. 128-134.

3. Система управления скоростным режимом непрерывного проволочного стана / Ю.А. Динник, Н.П. Зубаков, Ю.П. Карпинский и др. // Автоматизация металлургического производства. – 1979. – № 8. – С. 85-86.
4. Система управления скоростным режимом прокатки / Р.В. Лямбах, В.И. Стахно, А.П. Егоров и др. // Сталь. – 1985. – № 3. – С. 53-55.
5. Цифровая система управления скоростным режимом непрерывного сортового стана / В.И. Стахно, А.П. Егоров, В.С. Ткачев, В.Н. Куваев // Металлург. – 1983. – № 5. – С. 31-32.
6. Куваев В.Н., Политов И.В., Чигринский В.А. Система управления режимом непрерывной прокатки мелкосортной группы клетей стана 350/250 АО «Электросталь» // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1998. – № 4. – С. 87-91.
7. Освоение системы управления скоростным режимом прокатки в линии стана 350/250 / В.И. Калинин, М.Е. Кофман, В.Ф. Веселов и др. // Сталь. – 2003. – № 2. – С. 59-62.
8. Карпинский Ю.П., Костюченко М.И., Куваев В.Н. Опыт использования системы АСРП-И для автоматической стабилизации режима двухручьевого прокатки-разделения арматурной стали // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – К.: Наук. думка, 1999. – Вып. 3. – С. 344-349 / Тр. ИЧМ НАН Украины.
9. Система управления скоростным режимом прокатки сортовой линии мелкосортно-проволочного стана 250/150 ОАО «КГМК «Криворожсталь» / В.А. Шеремет, М.А. Бабенко, В.А. Щур, А.В. Скляр и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2004. – № 3. – С. 104-110.
10. Системы управления скоростным режимом непрерывной прокатки сортовых станов / В.А. Шеремет, М.А. Бабенко, А.В. Скляр, В.А. Щур и др. / Металургійна наука – підприємствам Придніпров'я: Зб. наук. пр. – Д.: Системні технології, 2005. – Вип. 2. – С. 52-62.
11. Матвеев Б.Н. Некоторые особенности современных мелкосортных станов // Сталь. – 1998. – № 6. – С. 35-41.
12. Матвеев Б.Н. Новое в производстве балок и сортовых профилей // Сталь. – 1999. – № 3. – С. 35-40.
13. Матвеев Б.Н. Методы повышения качества сорта и катанки // Производство проката. – 2001. – № 1. – С. 40-47.
14. Куваев В.Н., Коротенко Л.М. Исследования возмущений скоростного режима прокатки с прогибом раската между клетями // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 1998. – № 1(60). – С. 125-132.
15. Баур К. Применение ЭВМ для управления проволочными и мелкосортными станами // Черные металлы. – 1982. – № 8. – С. 11-15.
16. Регулирование натяжения при сортовой прокатке / Бергер Б., Моммертц К.Х., Нойшютц Э. и др. // Черные металлы. – 1985. – № 25. – С. 22-29.
17. Куваев В.Н. Повышение точности настройки скоростного режима прокатки при оценке межклетевых усилий по току электропривода клетки // Сб. научн. тр. / НГАУ. – 2001. – № 11, т. 2. – С. 209-213.
18. Куваев В.Н. Принципы оптимального раскрытия мелкосортного проката на полосы // Науковий вісник НГАУ. – 2002. – № 2. – С. 88-91.
19. Научные и технологические основы производства арматурных сталей нового поколения / Вихлевщук В.А., Дубина О.В., Поляков В.А., Сокуренок А.В. и др. – К.: Наукова думка, 2001. – 158 с.
20. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций. – М.: Воентехлит, 2000. – 256 с.
21. Контроль процесса термомеханической обработки арматурной стали в потоке мелкосортного стана / В.А. Чигринский В.А., В.А. Пирогов, В.Н. Куваев и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1999. – № 6. – С. 42-44.



22. Электромагнитный контроль процесса термоупрочнения проката крупных сечений / В.А. Шеремет, М.А. Бабенко, А.В. Кекух и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2004. – № 6. – С. 102-105.
23. Куваев В.Н., Чигринский В.А., Иванов Д.А. Методологические основы контроля режима термоупрочнения арматурного проката электромагнитным методом // *Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб.* – 2005. – Вип. 75. – С. 109-114.
24. Пат. 71817 А Україна, МКИ В21В37/10. Спосіб управління процесом термозміцнення прокату з прокатного нагрівання / М.А. Бабенко, Ю.П. Карпинский, М.И. Костюченко и др. – №20031212716; Заявл. 29.12.2003; Опубл. 15.12.2004, Бюл. №12.
25. Кузнецов Г.В., Куваев Г.Н., Куваев Я.Г. Энергосберегающее управление процессом измельчения руды на основе компьютерной стохастической модели // *Матер. междунар. конф. «Форум горняков – 2005»* – Д.: НГУ, 2005. – Т. 3. – С. 32-39.
26. Куваев Я.Г. Автоматическая экспертная энергосберегающая система управления замкнутым циклом мокрого шарового измельчения // *Наука та інновації*. – К.: НАН України, 2006. – № 3. – С. 48-53.