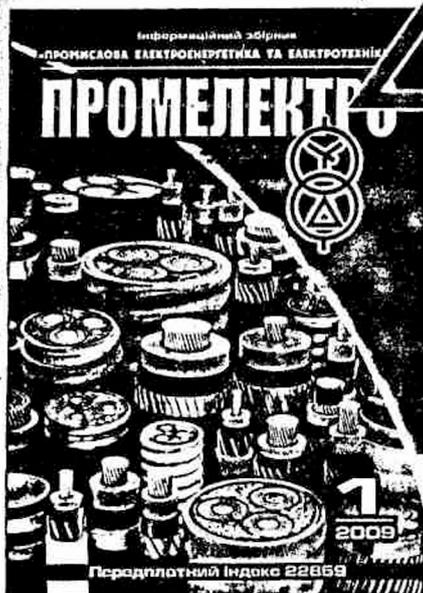


# 2009

№1



Головний редактор  
к.т.н. В.М. Божко (м. Київ)  
Заступник головного редактора:  
д.т.н. ФРН М.А. Денисенко (м. Київ)

Члени редакційної колегії:  
д.т.н. І.М. Богаєнко (м. Київ)  
д.т.н. Г.Я. Вагін (м. Нижній Новгород, Росія)  
д.т.н. І.В. Волков (м. Київ)  
д.т.н. І.В. Жежеленко (м. Маріуполь)  
д.т.н. В.Г. Кузнецов (м. Київ)  
д.т.н. А.В. Праховник (м. Київ)  
д.т.н. Б.С. Рогольський (м. Вінниця)  
д.т.н. О.С. Яндурський (м. Київ)  
к.т.н. Д.Б. Банін (м. Київ)  
к.т.н. С.В. Божко (м. Київ)  
к.т.н. В.О. Пнаїло (м. Київ)  
к.т.н. С.М. Пересада (м. Київ)  
к.в.н. А.П. Пушкар (м. Київ)  
к.т.н. С.Я. Меженний (м. Київ)  
к.т.н. В.І. Мозирський (м. Київ)  
к.т.н. Е.П. Островський (м. Київ)  
к.т.н. Д.Й. Розинський (м. Київ)  
Б.П. Біда (м. Київ)  
Л.Т. Вінниченко (м. Київ)  
Ю.С. Громадський (м. Київ)  
С.В. Федоров (м. Київ)  
В.Б. Ямпольський (м. Київ)

Технічний редактор:  
Н.М. Музиченко (м. Київ)  
Засновник та видавець:  
ТОВ ТОВ "КиївПромЕлектроПроект",  
ТОВ "ЕПІ"

Адреса редакції:  
03113, м. Київ-3, вул. І. Шевцова, 1  
Тел./факс (044) 391-17-11 (12)  
(044) 351-13-48 (49)  
(066) 976-83-74  
E-mail: promelectro@bigmir.net;  
etin@i.ua  
www.krepat.info

Оригінал-макет та друк  
ТОВ "ДІА"  
03022, м. Київ-22, вул. Васильківська, 45  
тел./факс. (044) 455-91-52  
E-mail. dia@onconet.kiev.ua

За достовірність інформації та реклами відповідальність несуть автори та рекламодавці.  
Редакція може не погодитися з точкою зору авторів статей. Редакція зберігає за собою право редагувати і скорочувати зміст статей.  
Надслані матеріали не повертаються. Передрук та використання матеріалів можливі тільки з письмового дозволу редакції.  
Наукові статті зареєстровані як фахові згідно з постановою президії ВАК України №4-05/07 від 03.06.2004 р.

## ЗМІСТ

### 2 НОРМАТИВНО-ДИРЕКТИВНА БАЗА

- 2 К вопросу об утверждении программы электроотопления в жилищной, коммунальной и бюджетных сферах.
- 3 Інформація щодо останніх наказів Мінпаливенерго про затвердження галузевих нормативних документів.

### 5 ПРОЕКТУВАННЯ ТА БУДІВНИЦТВО ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК

- 5 Скідан Н.Н., Назарок В.И., Лосицкий Ю.Е., В.И., Йони Леписто (Joni Lepisto), Плаксин Д.Э. Проектирование электроснабжения крупных электросталеплавильных комплексов.
- 12 Саванчук Н.И., Шинская Ю.В., Курлов Г.К. Система автоматизированного проектирования низковольтных комплектных устройств (САПР НКУ).
- 16 Денисенко М.А., Голованов М.Ю. Вихідні дані для розрахунку навантажень електричних мереж, що живлять установки для контактного електрозварювання.

### 23 НАУКА, ВИРОБНИЦТВО

- 23 Балота С.Н., Йовбак В.Д., Богаєнко И.Н. Система управления широкополосным станом горячей прокатки.
- 29 Дубовик В.Г., Городецкий В.Г. Устройство защиты асинхронного электродвигателя.

### 35 НАУКОВІ РОЗРОБКИ

- 35 Кизилов В.У., Зубюк Ю.П. Альтернативний підхід до регулювання ємності конденсаторних установок.
- 39 Волошко А.В. Метод формирования признаков классификации графиков электрических нагрузок на основе вейвлет-преобразования

### 44 В ПОРЯДКУ ОБГОВОРЕННЯ

- 44 Шостак В. Блискавкоприймачі: різновиди і характеристики.
- 50 Бедерак Я.С. Испытания повышенным выпрямленным напряжением силовых кабельных линий 6, 10 кВ: за и против.
- 53 Манилов А.М. К вопросу выбора проводников по условию термической стойкости к токам короткого замыкания.

### 55 ЗАПИТАННЯ-ВІДПОВІДІ

- 55 Городиський І.М. Стосовно відстані від ПЛ до вибухонебезпечних будівель і споруд.
- 60 Стосовно приєднання електроустановок до електричних мереж.



# НАУКА ВИРОБНИЦТВУ

УДК 621.771.23-413

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ШИРОКОПОЛОСНЫМ СТАНОМ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

*Балота С.Н., канд. техн. наук, Йовбак В.Д., канд. техн. наук,  
Национальный Университет пищевых технологий*

*Богаченко И.Н., докт. техн. наук, Научно-производственная корпорация  
«Киевский институт автоматики»*

### ВВЕДЕНИЕ

Современные методы управления и техника регулирования могут обеспечить существенное снижение затрат материалов и энергии, а также повысить качество продукции при производстве горячекатаного металлопроката.

В настоящее время благодаря достижениям в области вычислительной и полупроводниковой техники, информационных технологий при создании систем управления и систем автоматизации находят широкое применение более быстрые и менее дорогие вычислительные платформы, что позволяет при создании систем управления отказаться от суперкомпьютеров в пользу персональных компьютеров. Этот переход к использованию персональных компьютеров наряду с концепцией распределенной архитектуры систем, которая позволяет платформе распространяться гораздо быстрее, открыл возможности построения систем управления прокатным

производством с использованием новых, более совершенных и гораздо более сложных математических моделей процесса металлопроката.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Повышение требований к металлопрокату, а также усовершенствование технологии горячей прокатки – бесконечная прокатка, динамическое изменение толщины проката, применение высокоинтенсивных (сверхскоростных) систем охлаждения полос, новые механические решения управления формой полосы, прокатка со смазкой, регулируемая по температуре прокатки, ультра-тонкая горячая прокатка полосы предъявляют новые требования к системам управления (СУ) широкополосными станами горячей прокатки.

СУ широкополосными станами горячей прокатки с использованием управляющих машин на базе локальных систем управления геометрическими параметрами (САРН, САРТ, САУС) [1] не позволяют обеспечить

выполнение современных требований прокатного производства. Это обусловлено тем, что структура СУ предусматривает расчет с помощью управляющих машин на базе математических моделей начальной настройки стана. Указанная настройка обеспечивает заданное распределение толщины полосы; усилия прокатки и поперечной разнотолщинности по клетям в определенных (заданных) условиях. В действительности условия прокатки непостоянны: изменяются толщина, ширина и температура подката как по длине, так и в партии, межклетевые натяжения, износ и тепловое расширение валков, толщина масляной пленки в ПЖТ и другие факторы. Указанные изменения приводят к изменению толщины готовой полосы. САРТ в значительной степени устраняет продольную разнотолщинность, обусловленную действием большинства возмущений. Однако, ограниченные возможности по быстрой реакции исполнительных органов САРТ нажимных винтов обуславливают значительные динамические ошибки регулирования. Кроме того, при косвенном способе измерения зазора валков, на котором основана работа САРТ, неверно учитываются износ, температурное расширение и биение валков, что ведет к дополнительной ошибке регулирования. Указанные выше факторы приводят к тому, что в различных режимах работы САРТ толщина полосы на выходе стана будет отличаться от заданного значения. Для компенсации ошибки по толщине необходима коррекция начальной настройки, заключающаяся в перестройке межвалковых зазоров и скоростей клетей, выполняемая с помощью управляющей машины (УВМ) [2]. Устранить указанные недостатки и существенно повысить качество прокатываемой продукции позволяют СУ, использующие интеллектуальные системы с адаптацией в замкнутом контуре (нейронные сети, генетические алгоритмы и др.), сопрягаемые с существующими математическими моделями [3]. Создание указанных систем требует разработки их архитектуры и формирования функций отдельных подсистем.

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

**Определяющие факторы создания и совершенствования систем управления**

В настоящее время при создании систем управления прокатным станом, обеспечивающих повышение качества продукции и снижение затрат энергии и ресурсов на

ее изготовление, определяющими являются следующие факторы:

- очень надежный и жесткий алгоритм работы при отсутствии в чистом виде вмешательства оператора в работу системы;
- автоматическое выявление аварийных состояний на производственной технологии с автоматическим ремонтом и перезагрузкой системы;
- использование интеллектуальных датчиков, что может помочь в визуализации управляемого процесса.

Совокупность существующих систем автоматического управления гарантирует работу без вмешательства оператора при нормальных обстоятельствах. Однако, потребность во вмешательстве операторов возникает в аварийных условиях. Квалификация и опыт операторов в эти периоды работы оказывают непосредственное влияние на качество изготавливаемой продукции. Усовершенствования требуют создания очень устойчивых и жестких алгоритмов СУ, значительно отличающихся быстродействием. Такие усовершенствованные системы должны автоматически обнаруживать аварийную операцию, восстанавливать и перегружать ее без использования физического вмешательства операторов. В настоящее время используются различные датчики и методы обнаружения аварийных состояний и их устранения. Все более широкое применение находят интеллектуальные датчики, позволяющие достигнуть лучшей визуализации контролируемых процессов,

Иерархически структура СУ делится по горизонтали и вертикали. Горизонтальные уровни охватывают СУ производством, ведения процесса и базовую автоматику. При этом к уровню ведения процесса относятся функции расчета задаваемых значений по моделям, выдача протоколов, слежение за материалом, управление последовательностью прокатки, классификация, сбор данных о качестве и другие функции, некритические в смысле расчетного времени. При вертикальном расчленении элементы системы охватывают функции, относящиеся к участкам агрегата [1].

Современные СУ прокатным станом позволяют повысить качество проката и решить следующие задачи:

- уменьшение ошибки прогнозирования усилия прокатки, чтобы обеспечить точный расчет зазора, требуемого стратегией прямого цифрового управления раствором валков прокатной клети;

- увеличение точности расчета температуры проката, что позволит более эффективно проводить управление температурой;
- моделирование состояния валков и прогнозирование их будущего состояния, что включает как температуру, так и износ валков;
- сокращение количества эмпирических и табличных решений путем замены их на теоретические и физические математические решения.

Повышение качества прокатываемой продукции предполагает усовершенствование математических моделей, используемых для начальной настройки и адаптивного управления прокатным станом, которое производится по следующим направлениям:

- широкое использование моделирования первых этапов основных процессов с целью увеличения их точности и минимизации использования справочных таблиц;

- внедрение современных методов адаптации процессов;

- современные технологии проектирования программного обеспечения;

- комплексный инструментарий для диагностики и анализа производительности анализа производительности.

Особенностью современных СУ станом является открытая архитектура на основе сетевых технологий Ethernet и Internet [4].

**Уровни системы управления широкополосным станом горячей прокатки**

СУ технологическими процессами широкополосного стана горячей прокатки, представленная на рис. 1, является частью общей системы управления предприятием. Принципиально указанная система делится на три уровня [5].

**Уровень 0 (уровень датчиков).** К нему относятся датчики, показания которых используются для управления станом: давления, месдозы, рентгеновские измерители толщины, изотопные толщинометры, лазерные измерители формы, лазерные измерители скорости полосы между клетями, датчики частоты вращения двига-

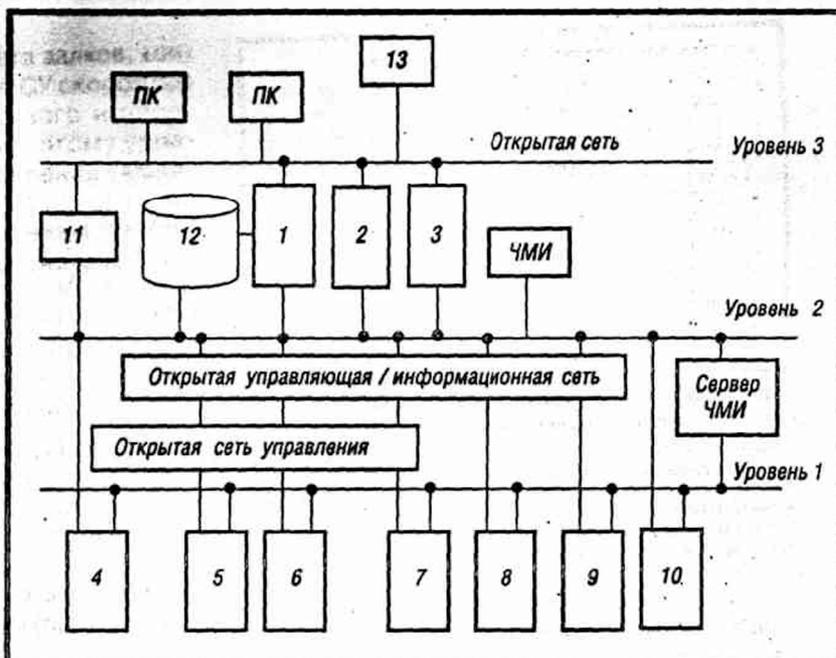


Рис. 1. Система управления широкополосным станом горячей прокатки:

1 — компьютер диспетчерского управления печью; 2 — компьютер диспетчерского управления клетями; 3 — резерв компьютеров диспетчерского управления; 4 — ввод/вывод системы управления нагреванием полосы; 5 — точная подстройка системы управления шириной в черновой группе клетей; 6 — управление промежуточным рольгангом /окалиноломателем; 7 — автоматический контроль позиционирования / автоматическое управление зазором валков чистой группы; 8 — управление противозгибом валков; 9 — контроль износа и замены валков; 10 — управление охладительным рольгангом; 11 — моделирование процесса и подготовка текущих данных для системы управления; 12 — база данных уровня 2; 13 — компьютер управления производством цеха; ЧМИ — человеко-машинный интерфейс; ПК — персональный компьютер

теля, измерители петли или измерители натяжения полосы, датчики положения, пирометры для измерения температуры полосы, измерители ширины, радиационные и изотопные измерители профиля и другие датчики. Для измерения температуры подката или полосы применяются датчики с программным обеспечением и математические модели.

Кроме того, широкое распространение получили датчики с искусственным интеллектом, совместимые с объектным управлением процессом, обладающие самодиагностикой и собственной оценкой точности измерений. Находят применение встроенные датчики измерения профиля, ширины и формы полосы. Использование беспроводных датчиков позволяет уменьшить количество присоединений, обеспечить надежность и простоту обслуживания.

**Уровень 1 (уровень базовой автоматизации).** На данный уровень поставляются данные от измерительных приборов, датчиков и от других агрегатов этого уровня, а также датчиков состояния прокатываемой полосы, которые далее передаются в уровень 2. Уровень содержит системы

компенсации эксцентриситета валков, контроля за вибрацией, а также СУ скоростью главного привода (постоянного и переменного тока). Кроме того, к этому уровню относятся системы управления температурой конца прокатки и температурой смотки, управления натяжением полосы с использованием петеледержателей, управления раствором валков. Указанные системы проектируются с использованием теории управления, теории оптимального и адаптивного управления, а также на основе динамических моделей.

**Уровень 2 (уровень управления технологическим процессом).** Уровень ведения технологического процесса определяется параметрами, которые поступают с уровня планирования процесса на предприятии (в цеху). Установленные на этом уровне промышленные компьютеры (процессоры) обеспечивают оптимальное и адаптивное управление станом на основе принятых моделей и критериев и полученной информации о ходе технологического процесса, проводят расчет начальной настройки стана, сбор и обработку технологической информации.

На данном уровне производятся следующие действия:

- управление формой и профилем полосы;
- формирование уставок для базовой автоматики;
- сопровождение полосы;
- адаптация, обучение и настройка моделей.

Расчетные математические модели базируются на механике твердого тела для профиля и формы полосы, термодинамике и микроструктуре металлов, теплопередаче полосы во время прохождения стана и в рулоне. В качестве расчетных используются аналитические, эмпирические уравнения и гибридные модели. Для адекватного описания процесса производится начальная и интерактивная настройка систем автоматики с использованием адаптивных моделей прокатки. Для адаптации моделей широко используются нейронные сети [3]. В частности, с помощью нейронных сетей уточняются коэффициенты уравнений, используемые для расчета усилий прокатки [6], определяется предварительная температура раската перед первой чистой клетью [7] и за последней чистой клетью [8], предварительно рассчитывается профиль полосы [9]. Схема процессорного управления процессом прокатки с использованием адаптивных моделей представлена рис. 2.

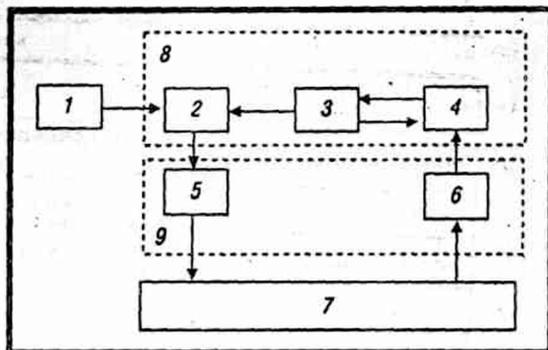


Рис. 2. Принципиальная схема процессорного адаптивного управления прокатным станом:

1 — задание исходных данных; 2 — предварительный расчет параметров; 3 — модель, таблицы, адапционные алгоритмы, нейронные сети; 4 — повторный расчет; 5 — начальная настройка базовой автоматики; 6 — сбор и обработка данных измерений; 7 — прокатный стан (черновая и чистовая группы клетей); 8 — уровень управления процессом; 9 — базовая автоматика

На уровне управления технологическим процессом формируются установочные модели, представленные в таблице 1.

Управление температурой на стане предполагает использование моделей, обеспечивающих расчет температурного режима прокатки [10]. Для температуры конца прокатки используются модели: начальной настройки стана; охлаждения полосы на отводящем рольганге; нагрева полосы в печи предварительного подогрева; охлаждения полосы в окалиномателе; скоростного режима полосы. Для температуры конца смотки применяются: модель охлаждения полосы на промежуточном рольганге; температура конца прокатки; модель скоростного режима прокатки; модель охлаждения полосы на отводящем рольганге.

Особенностью использования указанных моделей является их адаптация к условиям процесса посредством предварительного определения температуры перед первой прокатной клетью и последней клетью чистой группы с помощью нейронных сетей [7, 8].

Управление формой и профилем полосы предполагает использование моделей, представленных на рис. 3.

**Уровень 3 (уровень планирования продукции).** Применяется, если проводится загрузка и планирование задания (программа прокатки). Чтобы иметь возможность реагировать на возникающие проблемы, уровень 2 должен данные о состоянии стана передавать в уровень 3.

Связующим звеном между уровнями ведения процесса и управления произ-



Таблица 1. Использование моделей для управления процессом прокатки

Установочные модели		
Предварительный расчет	Ввод/вывод	Уставки базовой автоматики
Усилия прокатки	Данные для уровня управления процессом	Натяжение между клетями
Температура полосы	Модули прокатных клетей	Зазор между валками
Профиль и форма полосы	Подстройки моделей	Положение сторон валков
Термический профиль полосы	Обучения моделей	Скорости клетей
Износ валков		Положения петледержателей

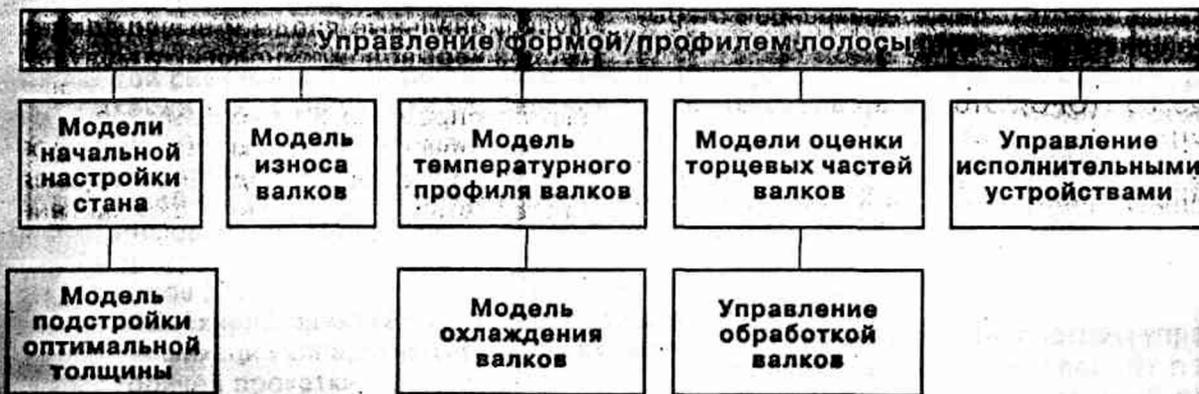


Рис. 3. Математические модели, используемые для управления формой и профилем полосы

водством является главный персональный компьютер (ПК) уровня 2. С его помощью производится протоколирование, расшифровка и передача некоторых отобранных данных по каждой горячекатаной полосе на нижестоящие уровни. Кроме того, с его помощью производится обмен с базой данных указанного уровня, ПК уровня управления процессом в соответствии с целевыми величинами и предельными возможностями агрегатов регламентирует задаваемые настройки для базовой автоматики. Для предварительной подготовки данных используют результаты измерений технологических параметров, подвергнутые статической обработке, а также данные расчетов с использованием математических моделей.

#### Информационная и управляющая сеть системы

Системы управления и передачи данных используют открытые сети, базирующиеся на промышленном Ethernet (стандарт IEEE 802.3 — CSMA/CD), что позволяет применять приводные системы различных производителей. Указанная сеть использует протоколы TCP/IP, что обеспечива-

ет простую связь между общими устройствами. Дополнительно, использование протокола управления сетью (SNMP) дает возможность контролировать и управлять всей сетью, включая устройства коммутации (hubs). Таким образом, использование современных информационных технологий позволяет создать интегральную структуру, объединяющую в одну глобальную систему различные системы управления и контроля, используемые на стане горячей прокатки.

#### Контроллеры нижнего уровня системы

При создании СУ используются международные эталоны и фактические стандарты построения персонального компьютера (PC) и стандарты межкомпонентного соединения периферийных устройств. Контроллеры нижнего уровня, обеспечивающие управление исполнительными механизмами и обработку сигналов датчиков, построены с использованием быстродействующих универсальных микропроцессоров и специализированных микропроцессоров, которые обеспечивают режимы работы с высоким быстродействием. Многопроцессорная

архитектура СУ (максимум четыре центральных процессора) обеспечивает оптимальное распределение обрабатываемых заданий при более высоких скоростях и позволяет производить расширение добавлением плат центрального процессора (CPU). Архитектура СУ также позволяет дополнять структуру системы управления стана горячей прокатки, используя универсальные цикловые контроллеры.

#### Человеческо-машинный интерфейс

В СУ применяют человеко-машинный интерфейс (ЧМИ), использующий технологию сервера пользователя, допускающую степень интеграции всех экранов в открытой системе и с соединением объекта, а также внедрением для управления процессом (ОПС). Это делает возможным построение системы с единой средой, состоящей из системы передачи всех видов информации, различных компьютеров и программируемых логических контроллеров (PLCs) различных производителей. Эта технология может использоваться для унификации аппаратных средств на станах горячей прокатки.

#### Интегрированная среда проектирования

При создании СУ предусматривают интегральный инструмент проектирования, который использует объектно-ориентированные базы данных. Этот инструмент создает единую среду проектирования для приводов, контроллеров, человеко-машин-

ных интерфейсов, локальных сетей и т.д. Эта система поддерживает IEC-61131-3-BASED язык, который принят как международный эталон. Иерархические функции и функции отдельных блоков способствуют стандартизации прикладного программного обеспечения.

#### Система ввода-вывода

СУ позволяет объединить существующие технологии систем ввода — вывода и открытые технологии полевых сетей системы ввода — вывода. Это использование CC-LINK, соединяющих разомкнутую полевую сеть, чтобы допустить распределение процессов ввода — вывода системы, где функциональные входы и выходы (типа вводов — выводов технологии и модулей оператора в рабочем пространстве) могут быть распределены в рабочей зоне.

Для обеспечения, открытого подключения с системой привода используется Profibus.

#### ВЫВОДЫ

1. Современные системы управления прокатным станом позволяют повысить качество проката за счет компьютерного управления процессом прокатки на основе адаптивных математических моделей.

2. Построение систем управления и передачи данных с использованием открытых сетей на базе промышленного Ethernet позволяет применять приводные системы промышленных механизмов различных производителей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Васичкин В.И. и др. АСУ листопрокатных станов. — М.: Металлургия, — 1994. — 334 с.
2. Б.И. Кузнецов, И.О. Опришко, И.Н. Богаенко и др. Автоматизация управления листовыми прокатными станами: — К.: Техника, 1992. — 231 с.
3. В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко и др. Нейронные сети в системах автоматизации. — К.: Техника, 1999. — 364 с.
4. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский, Г.Г., Рюмшин Н.А. Интернет-технологии в децентрализованных системах комплексной автоматизации // Автоматизация производственных процессов. — 2003. — №2(17). — С.1...9.
5. Pirkbauer K., Pksch R., Weinreich R. Object-Oriented and Conventional Process Automation Systems // Proceedings of 39th International Scientific Colloquium at TU Ilmenau, Bd. 3, (1994), S. 566...571.
6. HWU Y.J., LENARD J.G. Application of Neural Networks in the Prediction of Roll Force in Hot Rolling" //In: 37th Mechanical Working and Steel Processing Conference. Proceedings. The Iron and Steel Society, Warrendale, 1996. — P. 549...554.
7. Perttu Laurinen, Juha Rönning An adaptive neural network model for predicting the post roughing mill temperature of steel slabs in the reheating furnace //Journal of Materials Processing Technology, Volume 168, Issue 3, P. 423...430 (15 October 2005).
8. VERMEULEN, W. et al. Prediction of the Measured Temperature after the Last Finishing Stand Using Neural Networks // Steel Research, January 1997, P. 20...26.
9. PORTMANN, N.F. et al. Application of Neural Networks in Rolling Mill Automation // Iron and Steel Engineer, February 1995. — P. 33...36.
10. Коновалов Ю.В., Остапенко А.Л., Пономарев В.И. Расчет параметров листовой прокатки: Справочник. — М.: Металлургия, 1986. — 430 с.