

# Автоматизация реверсивного стана горячей прокатки ДУО-850

*Виталий Грицюк, Андрей Созонтов, Сергей Счастливец,  
Евгений Леонидов-Каневский, Павел Гагарин*

В ходе модернизации стана горячей прокатки специалистами Киевского института автоматики была создана АСУ ТП с применением собственных разработок и современных аппаратно-программных средств фирм Siemens, Advantech, Rittal, Balluff, Bosch Rexroth, СКБ ИС и других. В статье описаны структура и основные функции АСУ и гидравлического нажимного устройства, рассмотрены схемы регулирования толщины полосы, анализируются достигнутые показатели АСУ ТП.

## ВВЕДЕНИЕ

Стан ДУО-850 на Кировском заводе по обработке цветных металлов (КЗ ОЦМ) находится в эксплуатации с 1957 года. Стан включает в себя две проходные нагревательные печи, рабочую клетку, вертикальную клетку, гильотинные ножницы и бухтосвёрточную машину. Выпускает листовую продукцию из меди и медных сплавов (плиты, листы, рулонную полосу). Стан является единственным входным агрегатом в технологической схеме производства листового проката. Большая часть рулонной продукции стана подаётся для последующей холодной прокатки. При этом рулоны укрупняются, что выдвигает повышенные требования к разности толщин свариваемых концов полос. Однако на стане отсутствовали средства автоматизации и качество продукции полностью определялось опытом и навыками операторов стана.

В 2005 году к работам по реконструкции стана были привлечены сотрудники Киевского института автоматики, которые совместно со специалистами завода провели обследование стана. По результатам обследования было принято решение о реконструкции ряда механизмов и создании АСУ ТП прокатки.

## Создание АСУ ТП

В состав устройств, работа которых должна контролироваться и управляться АСУ, входят:

- рабочая клетка ДУО (главный привод и электромеханические нажимные винты);
- эджерная клетка (электромеханические нажимные винты);
- рольганги.

На рис. 1 показана рабочая клетка стана ДУО-850 прокатного цеха Кировского завода ОЦМ.

В процессе реконструкции, которая в соответствии с возможностями завода осуществлялась поэтапно, на первом этапе были проведены:

- замена нажимных винтов рабочей клетки с уменьшением шага с 40 до 32 мм, что уменьшило возможность самоотвинчивания при входе металла в клетку;
- модернизация системы уравнивания верхнего вала и шпинделя с целью исключения отрыва нажимных винтов от подушек при подъёме и динамического перекоса при опускании;
- замена приводов рольгангов на частотно-регулируемые приводы, перевод на частотное управление привода нажимных винтов эджерной клетки.

Для решения задач автоматизации центральным вопросом был подбор и привязка к действующим механизмам необходимых датчиков. Были разработаны схемы привязки, изготовлены специалистами завода требуемые детали и установлены на стане датчики нижнего уровня.

Работы, проведённые на первом этапе реконструкции, дали возможность



Рис. 1. Рабочая клетка стана ДУО-850

осуществить программное управление процессом прокатки на стане, обеспечить оператора полной информацией, осуществить регистрацию и передачу в АСУ цеха протоколов прокатки каждого слитка.

На втором этапе реконструкции и автоматизации стана была осуществлена замена месдоз мембранными исполнительными механизмами (МИМ), которые позволили не только оценивать усилие прокатки по давлению масла, но и регулировать зазор и перекося валков под нагрузкой. Однако замена месдоз на МИМ породила новую проблему: при временной неработоспособности гидравлики одновременно отключалось программное управление в связи с исчезновением сигнала наличия металла в клетке, формируемого по сигналу усилия прокатки. Для восстановления надёжности системы были дополнительно установлены датчики растяжения стоек станины, выполненные на базе

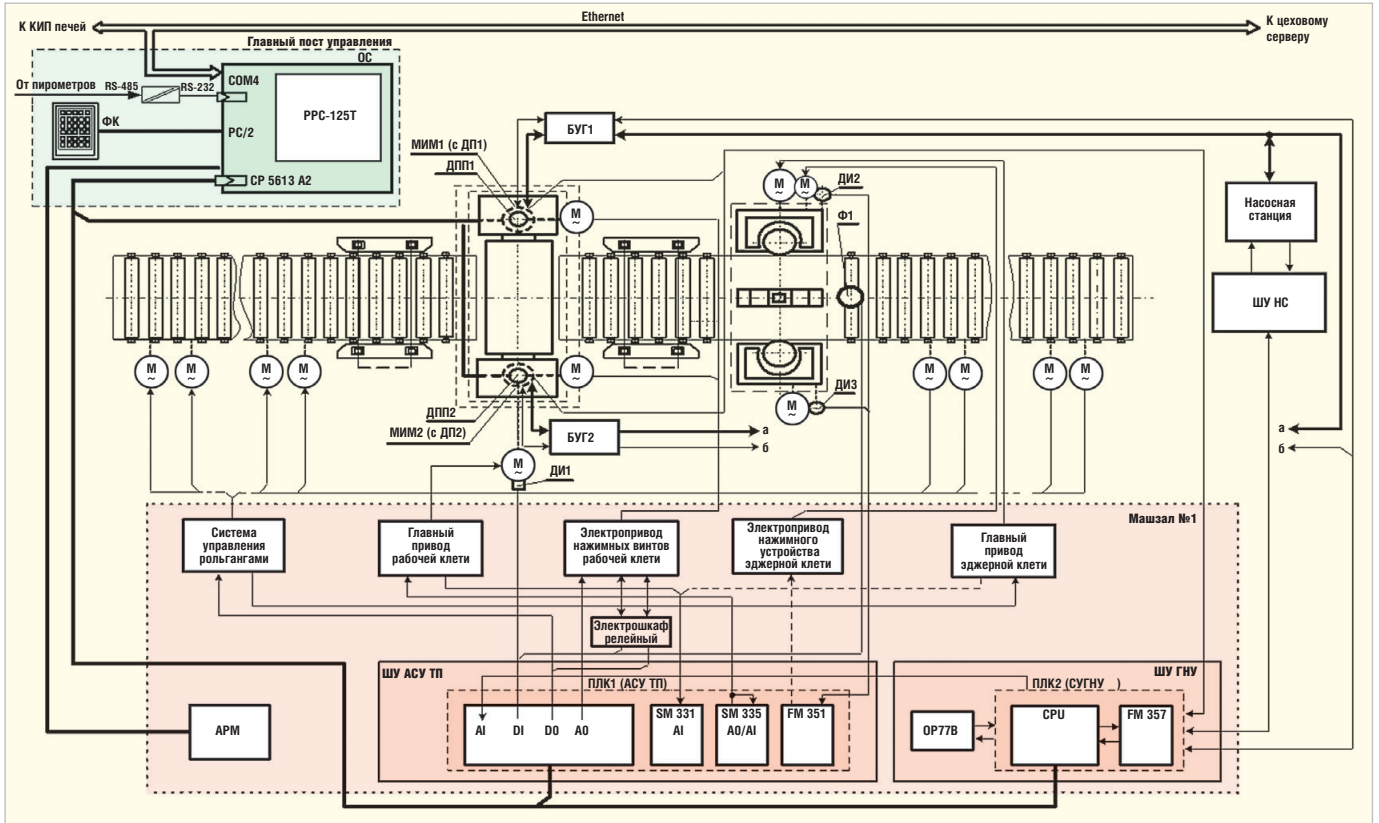


Рис. 2. Структурная схема АСУ ТП стана ДУО-850 и гидравлического нажимного устройства

датчиков деформации SLB 700A/06 фирмы HBM.

В результате была создана АСУ ТП прокатки на стане ДУО-850, двухуровневая структура которой представлена на рис. 2.

На структурной схеме условно показаны электропривод нажимных винтов рабочей клетки – ЭПНВ РК, главный привод рабочей клетки (РК) или эджера – ГП, частотно-регулируемый электропривод (рольгангов, нажимных винтов эджера) – ЧРЭП.

В состав АСУ ТП входят программно-технические средства и измерительные устройства, алгоритмы работы которых показаны на рис. 3:

- операторская станция (ОС) PPC-125T фирмы Advantech с коммуникационным процессором CP 5613 A2 компании Siemens и функциональной клавиатурой (ФК) HL-KBD56PC на главном посту управления (рис. 4);
- шкаф управления ШУ АСУ ТП с программируемым логическим контроллером ПЛК1 на базе SIMATIC S7-300 компании Siemens;
- датчики растяжения стоек станины SLB 700A – ДР1 и ДР2;
- микроимпульсные измерители положения типа BTL5 фирмы Balluff (датчики положения нажимных винтов рабочей клетки) – ДЛП1 и ДЛП2;

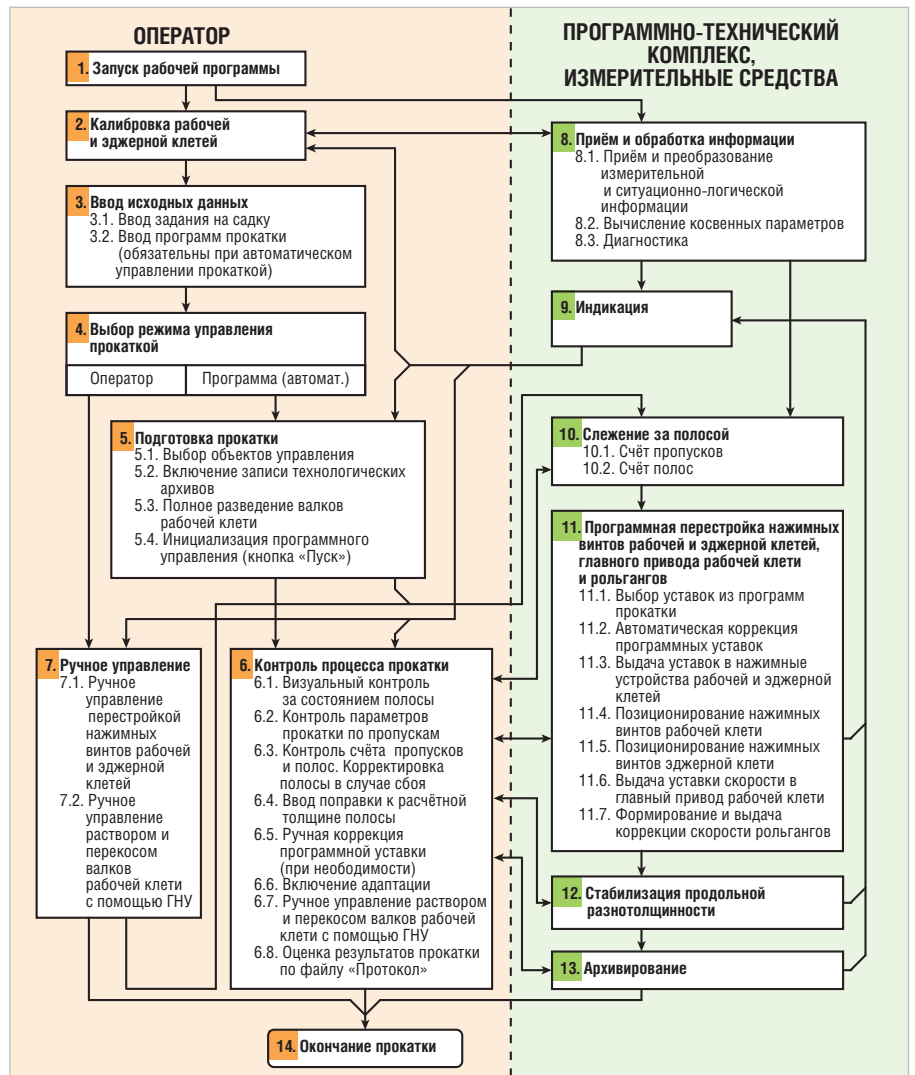


Рис. 3. Алгоритмы работы программно-технических средств и измерительных устройств АСУ ТП



Рис. 4. Операторская станция с функциональной клавиатурой на главном посту управления

- импульсный датчик ПДФ5 (датчик угла поворота главного электропривода рабочей клетки) – ДИ1;
- преобразователи угловых перемещений типа ЛИР-158Б производства ОАО «СКБ ИС» (датчики положения вертикальных валков эджерной клетки) – ДИ2 и ДИ3;
- инфракрасные линейные датчики типа ИЛД1-01 разработки НПП «Киевский институт автоматики» – Ф1, Ф2;
- автоматизированное рабочее место (АРМ) мастера на промышленном компьютере iROBO-2000 фирмы irc2u;
- гидравлическое нажимное устройство (ГНУ) с системой управления в составе:
  - мембранные исполнительные механизмы с встроенными датчиками положения – МИМ1 (с ДП1) и МИМ2 (с ДП2),
  - электрогидравлические блоки управления БУГ1 и БУГ2,
  - насосная станция,
  - шкаф управления ШУ ГНУ с программируемым логическим контроллером ПЛК2 и панелью оператора ОР77В (Siemens),
  - шкаф управления насосной станцией ШУ НС.

Для контроля температуры проката используются двухспектральные пирометры фирмы Raytek. Оборудование монтировалось в шкафах фирмы Rittal.

### Основные функции АСУ

Перечислим функции, реализуемые системой.

Информационные функции:

- приём исходных данных в систему и связь с оператором-технологом;
- сбор, хранение и выдача технологической информации;
- визуализация процесса прокатки металла и работы системы.

Программное управление механизма стана:

- инициация программной перестройки;
- слежение за металлом в клетях и формирование команд на перестройку;
- перестройка нажимных винтов горизонтальной (рабочей) клетки;
- перестройка главного привода рабочей клетки;
- программное управление скоростями рольгангов;
- программная перестройка нажимных винтов вертикальной (эджерной) клетки.

Регулирование толщины полосы:

- стабилизация раствора валков при входе полосы в клеть;
- стабилизация толщины по длине полосы;
- стабилизация усилия прокатки по длине полосы;
- стабилизация толщины от полосы к полосе (адаптивная коррекция программы перестройки нажимных винтов).

Эти функции реализуются на верхнем уровне путём:

- ввода задания на прокатку очередной садки слитков, находящихся в нагре-

вательной печи (ввод предусмотрен из АСУ цеха и продублирован ручным вводом с ФК; в задании указываются атрибуты каждой полосы, в том числе два обязательных – это заданная выходная толщина и планируемое количество проходов);

- ввода программы прокатки на текущий типоразмер;
- счёта пропусков и полос;
- отображения текущей технологической информации оператору стана (человеко-машинный интерфейс);
- ситуационного формирования и выдачи уставок механизмам в соответствии с действующей программой прокатки;
- стабилизации средней толщины полос текущей группы по команде «Так держать!»;
- формирования оперативного протокола прокатки (с возможностью просмотра в паузе и в конце прокатки);
- формирования архивного протокола прокатки (по пропускам);
- формирования ретроспективного протокола технологических параметров с интервалом 0,25 с;
- формирования протокола событий.

Это иллюстрируют экранные формы (ЭФ). На рис. 5 показана ЭФ «Прокатка». Она используется оператором в процессе прокатки, обеспечивая его необходимой технологической и ситуационной информацией и давая возможность оператору выполнять некоторые управляющие функции. А ЭФ «Параметры прокатки», приведённая на рис. 6, содержит информацию для мастера и технолога цеха.

На нижнем уровне ранее перечисленные функции реализуются путём:

- измерения положения позиционных механизмов (нажимных винтов гори-

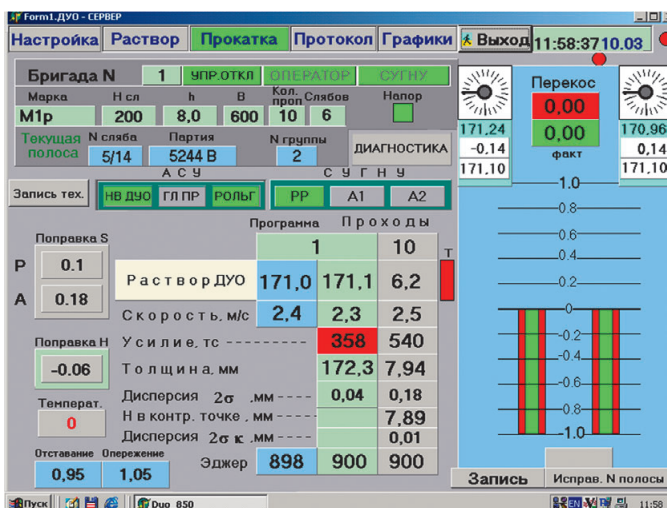


Рис. 5. Основная экранная форма «Прокатка»

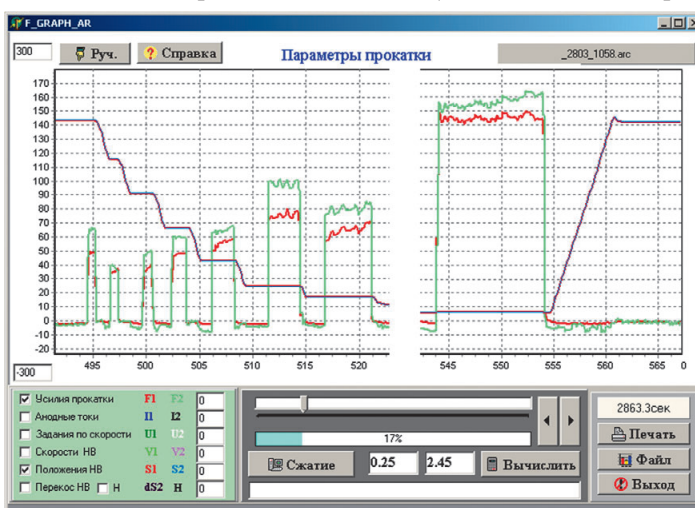


Рис. 6. Экранная форма «Параметры прокатки» (информация для мастера и технолога)

зонтальной и вертикальной клетей, растворов МИМ) и скорости главного привода;

- измерения усилия прокатки по давлению в МИМ, по растяжению стоек станин и формирования сигнала «Металл в клети»;
- установки в заданное положение нажимных винтов горизонтальных и вертикальных валков (в паузах между проходами);
- поддержания заданных растворов и регулирования толщины по длине полосы с помощью МИМ при прокатке;
- отработки перекося валков по команде оператора во время прокатки.

Обмен информацией между уровнями АСУ ТП осуществляется по сети PROFIBUS DP, а с АСУ цеха — по сети Ethernet. На АРМ мастера в составе АСУ ТП выполняются сервисные функции, оно предназначено для отображения текущего технологического процесса в режиме реального времени. Данные о предыдущих прокатанных слитках, а также технологическом процессе прокатки хранятся в ОС и передаются по сети Ethernet в цеховой сервер. Интерфейс PROFIBUS DP объединяет ОС, контроллеры SIMATIC S7-300

ПЛК1 (АСУ ТП) и ПЛК2 (СУ ГНУ), а также два датчика положения ВТЛ.

Специальное программное обеспечение (СПО) контроллера в составе АСУ ТП стана ДУО-850 называется STAN-850. Оно разработано с использованием программного пакета STEP7 версии V5.3 (среда автоматизации SIMATIC) фирмы Siemens. Пакет STEP7 работает в операционной среде Windows 2000.

### ОПИСАНИЕ ГНУ

Беспоршневое гидравлическое нажимное устройство на основе мембранных гидрокапсул разработано в Киевском институте автоматики (КИА) с использованием конструктивных решений, отработанных на устройствах силовых измерительных гидравлических (УСГ) для калибровки месдоз в клетях прокатных станов, ранее поставлявшихся КИА [1]. Основу ГНУ составляют две мембранные гидрокапсулы (точнее называемые мембранными исполнительными механизмами — МИМ), устанавливаемые в пазах подушек верхнего валка, как показано на рис. 7. Сервоклапаны, датчики давления, аккумуляторы и другое гидравлическое оборудование собраны в блоках управления гидравликой (БУГ —



Рис. 7. Мембранные гидрокапсулы, установленные в пазах подушек верхнего валка

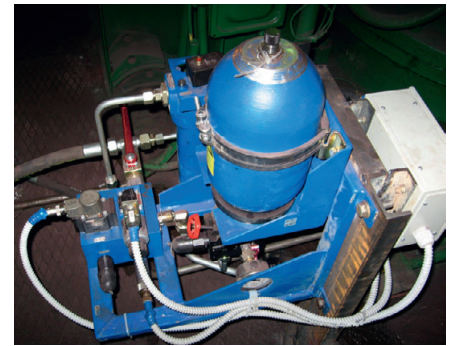


Рис. 8. Блок управления гидравликой

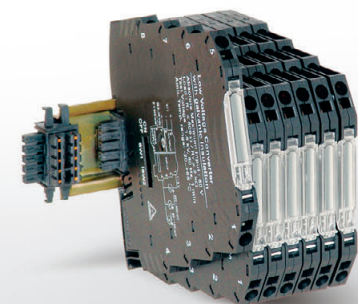
рис. 8), установленных на шапке клети в непосредственной близости от МИМ. Давление в магистрали обеспечивается насосной станцией (рис. 9) с напором до 315 бар. Все гидравлические устройства спроектированы на базе оборудо-



Компания основана в 1984 году

Нормирующие преобразователи  
Коммуникационные устройства  
Системы распределённого ввода-вывода

Высокое качество,  
проверенное временем



DSCP6x —

**НОВАЯ** компактная серия преобразователей сигналов

- Исполнение в ультракомпактном корпусе шириной 6,2 мм
- Пружинные клеммные зажимы CAGE CLAMP
- Трёхуровневая изоляция до 1500 В
- Диапазон рабочих температур -20...+65°C

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ DATAFORTH

#96



Реклама

PROSOFT®

Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru



Рис. 9. Насосная станция

вания фирмы Bosch Rexroth. Гидрокапсула характеризуется установочными габаритами 616×636×215 мм. Размер 616 мм является конструктивным ограничением, которое определяется максимально возможной шириной паза в подушке валька. Эффективная площадь гидрокапсулы – 1666 см<sup>2</sup>. Расчётное усилие при давлении 290 бар составляет 490 тс. Допустимый диапазон рабочего хода – от 0 до 8 мм. Паспортная пропускная способность сервоклапана 20 л/мин обеспечивает скорость раздвижения под нагрузкой 2,0 мм/с. В гидрокапсуле установлен датчик линейного перемещения с разрешающей способностью 5 мкм. С наружной стороны к капсуле крепится конечный выключатель (на рисунке не показан), который должен предотвращать подачу жидкости при чрезмерном раздвижении (свыше 10 мм).



Рис. 10. Гидрокапсула в процессе замены мембраны

«Узким местом» мембранных гидрокапсул традиционно считается стойкость (долговечность) самих мембран. Определённая на специальном стенде долговечность мембран составила 1 миллион циклов перемещения с амплитудой ±0,05 мм под нагрузкой. Эксплуатация подтвердила расчётные показатели: при односменной эксплуатации мембраны служили в среднем по 1,5 года. Полный цикл замены мембраны (извлечение МИМ из клетки, разборка, сборка, промывка, заправка, удаление воздуха, установка в клетку) занимает 4 часа, что вполне допустимо по условиям эксплуатации. На рис. 10 показана гидрокапсула в процессе замены мембраны.

### АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТОЛЩИНЫ

Обработка программы обжатий по пропускам не требует дополнительных пояснений. В то же время регулирование толщины при реверсивной прокат-

ке может осуществляться множеством способов с выходом на постоянную заданную толщину в последнем пропуске. При этом желательно не нарушать заданное технологами распределение обжатий по пропускам.

На рис. 11 показаны две схемы регулирования толщины, принятые в настоящее время. Условные обозначения на рисунке:  $q, q_{er}$  – жёсткость полосы и эталонная жёсткость;  $\Delta S_{nv}$  – коррекция раствора нажимных винтов перед очередным пропуском;  $P, P_{set}, P_{et}$  – усилие прокатки текущее, заданное, эталонное;  $\Delta S_{gnu}$  – коррекция зазора гидрокапсул на полосе;  $f$  – функция измерительная/вычислительная.

Схема по первой строке обычно работает при прокатке первых трёх полос. Схема по второй строке действует при прокатке следующих полос, после включения режима «Так держать!».

Регулирование на каждом пропуске производится в две стадии.

Первая стадия – стабилизация толщины от полосы к полосе. Автоматическая установка растворов вальков для каждого пропуска снижает влияние человеческого фактора на точность прокатки, но не гарантирует повторяемость толщины, поскольку слитки в партии могут отличаться как по температуре, так и по химическому составу, что приводит к разбросу средних толщин.

Суть регулирования состоит в следующем. На каждом пропуске, используя данные по усилию прокатки и рас-

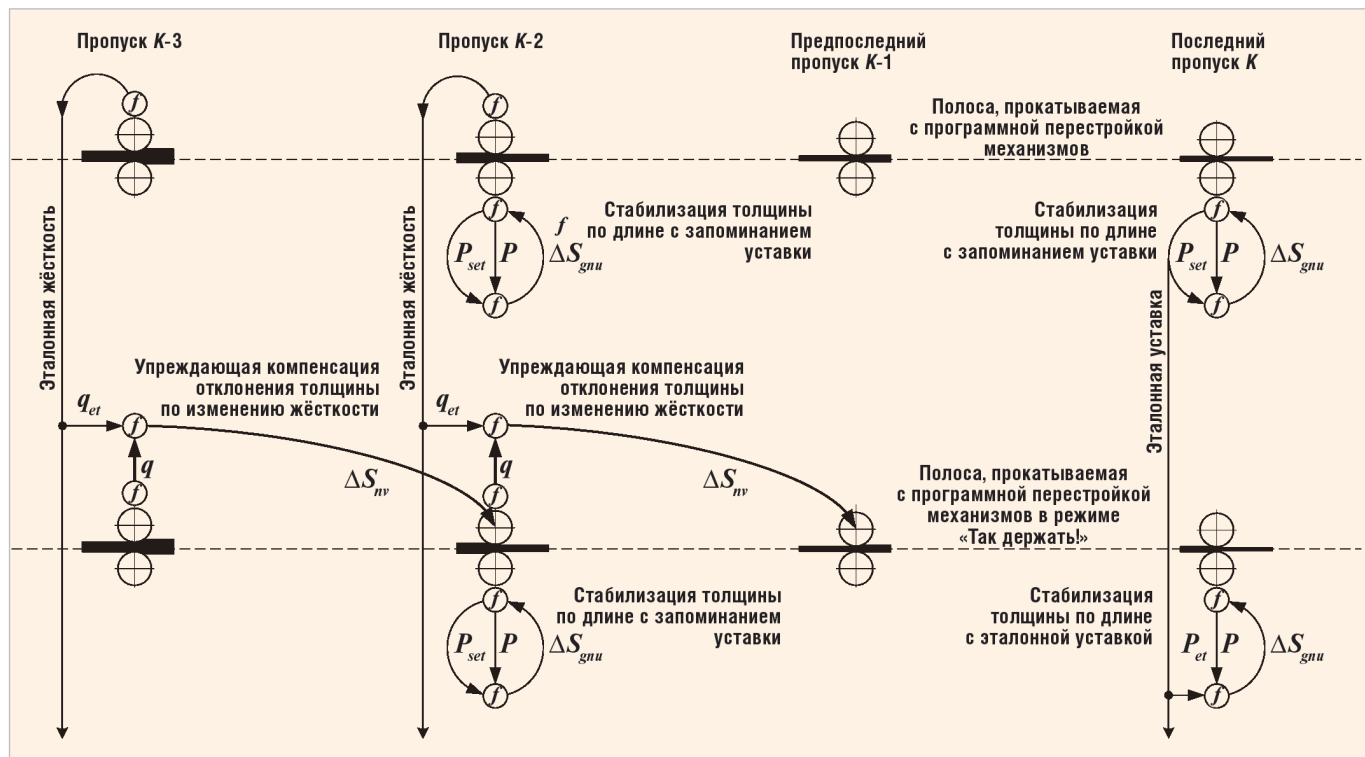


Рис. 11. Схемы регулирования толщины полосы по пропускам

твору валков, вычисляется толщина и жёсткость полосы. Впоследствии для полосы, принимаемой (по решению оператора) за эталон, формируется массив распределения эталонной жёсткости  $q_{et}$  по пропускам. При прокатке следующей полосы на каждом пропуске дополнительно оценивается отклонение текущей жёсткости относительно её эталонного значения. Далее, используя принцип подобия, прогнозируется дальнейшее изменение жёсткости и усилия прокатки для следующего пропуска, на основании чего формируется поправка положения нажимных винтов рабочей клетки.

Очевидное преимущество этой схемы состоит в том, что мы встречаем раскат валковым зазором, скорректированным заранее.

Вторая стадия – стабилизация толщины по длине полосы. Она возможна только при работе ГНУ. На последнем проходе стабилизация осуществляется по принципу Симса-Головина (режим абсолютно жёсткой клетки – АЖК). На предпоследнем проходе регулирование по Симсу-Головину отсутствует (имеем режим нормальной клетки – НК), так как нам выгоден возникающий при

этом обратный клин в толщине, снижающий нагрузку на ГНУ в последнем пропуске. Для получения наибольшей величины клина входную толщину на предпоследнем проходе желательно иметь постоянную. Поэтому прокатка на третьем от конца проходе проводится также в режиме АЖК. Таким образом, в программе прокатки необходимо задавать настройку на трёх последних проходах 100% (АЖК), 0% (НК), 100% (АЖК) соответственно. Оператор может по своему усмотрению менять предложенную по умолчанию схему регулирования в последних пропусках. При задании режима «Так держать!» регулятор использует на последнем пропуске эталонную уставку по усилию прокатки.

### ДОСТИГНУТЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АСУ ТП

#### Точность позиционирования нажимных винтов

Позиционирование нажимных винтов рабочей клетки обеспечивается с погрешностью, не превышающей 0,06 мм. Однако при входе полосы в клеть вследствие выборки всех люфтов по-

является подскок нажимных винтов, имеющий случайную амплитуду (до 0,22 мм). Поэтому ГНУ компенсирует ошибки позиционной системы уже после входа металла в клеть. Ошибка совместного позиционирования при этом не превышает 0,02 мм.

Позиционирование нажимных винтов эджера обеспечивает установку валков на заданную ширину с погрешностью не хуже 2 мм.

#### Разброс средней толщины полосы

Влияние работы АСУ на разброс средней толщины полосы в пределах одного типоразмера иллюстрируется табл. 1.

#### Продольная разнотолщинность по длине полосы

Влияние работы АСУ на продольную разнотолщинность полосы иллюстрируется табл. 2.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Модернизация оборудования и внедрение АСУ ТП на стане ДУО-850 позволило существенно улучшить качествен-



**CRANE**  
AEROSPACE &  
ELECTRONICS  
Interpoint™ Products

**Проверенные решения – в кратчайшие сроки!**



**ДОСТАВКА ДО 6 НЕДЕЛЬ**

**ВЫСОКОНАДЕЖНЫЕ DC/DC-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ INTERPOINT™ ДЛЯ АВИАКОСМИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ**

Популярные модели DC/DC-преобразователей и помехоподавляющих фильтров серий **MSA, MHF+, MTR, MFL, MOR**

- Мощность от 5 до 120 Вт
- Одно-, двух- и трёхканальные модели



**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ CRANE AEROSPACE & ELECTRONICS**



Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru

**#132**



Таблица 1

## Влияние работы АСУ на разброс средней толщины полосы в пределах одного типоразмера

Марка типоразмера	Погрешность средней толщины полос с доверительной вероятностью 95% (удвоенная сигма), мм		
	Ручная перестройка стана	Программная перестройка стана	Программная перестройка с коррекцией по эталону
Медь	0,167	0,092	0,051
Латунь Л63	0,189	0,132	0,022

Таблица 2

## Влияние работы АСУ на продольную разнотолщинность полосы

Марка типоразмера	Продольная разнотолщинность с доверительной вероятностью 95% (удвоенная сигма), мм	
	Естественная	С регулированием
Медь	0,05	0,02
Латунь Л63	0,08	0,04

ные показатели выпускаемой продукции и облегчить условия труда операторов. Появилась возможность оператив-

но задавать, проверять и обрабатывать новые технологические режимы прокатки, в том числе ранее неосуществи-

## НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ НОВОСТИ

### В линейке поставок ПРОСОФТ появился новый бренд Santerno

Компания ПРОСОФТ открыла новое направление – «Частотные преобразователи и устройства плавного пуска». В последние годы в России наблюдается постоянно растущий интерес к данной продукции. Частотные преобразователи и устройства плавного пуска (ЧРП и УПП) применяются практически в любой отрасли, где необходимо правильное и точное управление двигателем. Нефтегазовая отрасль, водоснабжение, энергетика, автоматизированное производство, атомная и оборонная промышленность – далеко не полный перечень отраслей, в которых использование ЧРП и УПП просто необходимо.



Компания Santerno – крупнейший итальянский производитель ЧРП и УПП. Вся продукция производится на заводах Италии и Южной Кореи и имеет гарантию от 2 до 3 лет. ЧРП и УПП имеют серьёзные технические и коммерческие преимущества по сравнению с конкурентами на российском рынке. Продуктовая линейка очень широка – производитель предлагает решения для различных задач.

Стандартные приводы SINUS M и SINUS N реализуют векторное или V/F-управление двигателями и имеют улучшенные выходные ха-

рактеристики. Они подходят для простых решений в сфере ЖКХ и водоснабжения.

Промышленный привод SINUS PENTA – многозадачное устройство с функциями управления несколькими насосами и регенеративным режимом. Изделие предназначено для применения в промышленности и обрабатывающих отраслях.

Также компания предлагает преобразователи постоянного тока DCREG, которые широко используются в задачах, где необходимы рекуперация энергии, точное поддержание скорости, хорошие динамические характеристики системы и стабильный момент на валу во всём диапазоне регулирования скорости. Среди типичных областей применения приводов постоянного тока можно назвать экструдеры, миксеры, куттеры, волочильные машины и прессы.

Устройства плавного пуска ASAC и ASAB используются для оптимизации работы электродвигателей, тем самым продлевая их жизнь. Серии рассчитаны на двигатели разных мощностей, что позволяет подобрать нужное устройство для решения простых задач.

Фирма ПРОСОФТ с 2013 года является официальным дистрибьютором компании Santerno. Вся продукция доступна для заказа на сайте. Актуальная информация по новому направлению представлена в разделе АСУ ТП. ●

### Новости ISA

К исполнению обязанностей вице-президента ISA (округ 12) приступил господин Brian Curtis (Ирландия), который будет трудиться на этом посту с 1 января 2013 года по 31 декабря 2014 года. Господин Curtis дважды посещал Санкт-Петербург и принимал участие в заседаниях Европейского совета ISA в 2002 и 2007 годах.

мые. Например, ограниченная мощность вертикальной клетки не позволяла провести требуемое эджирование в один проход, а перестройка эджера между нечётным и чётным проходами ранее была невозможна.

Большой объём собираемой и регистрируемой информации о прокатке каждого конкретного слитка и работе оборудования стана позволяет руководству оперативно контролировать состояние дел и принимать соответствующие решения. ●

### ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев Ю.Б. Градуировочные устройства для клеток автоматизированных прокатных станов // Сталь. – 1981. – № 7. – С. 55.

E-mail: [evgenk4@gmail.com](mailto:evgenk4@gmail.com)

В штаб-квартире Международного общества автоматизации (ISA) в Российской Федерации состоялось ежегодное заседание Президиума ISA РФ. Президентом-секретарём Российской секции ISA избран проктор ГУАП, доцент Антонина Юлия Анатольевна. Она вступит в должность президента секции 1 января 2014 года.

Продолжается подготовка к проведению в рамках XIV Международного форума «Формирование современного информационного общества: проблемы, перспективы, инновационные подходы» (Modern information society formation: problems, perspectives, innovation approaches) круглого стола «Тенденции в глобальной автоматизации до 2020 года». Круглый стол проведут профессор Gerald Cockrell (США) – президент ISA 2009 года, Pino Zani (Италия) – президент ISA 2002 года, а также глава представительства ISA в РФ профессор Анатолий Оводенко (ГУАП, Россия). Форум пройдет со 2 по 6 июня 2013 года в Санкт-Петербурге. В период с 1 по 9 июня 2013 года состоится визит в Санкт-Петербург двух бывших президентов ISA: Gerald Cockrell и Pino Zani. Руководители ISA посетят ГУАП, штаб-квартиру ISA в Российской Федерации, примут участие в заседании Российской секции ISA, выступят перед студентами, аспирантами и преподавателями ГУАП.

Очередное заседание исполкома Европейского совета ISA пройдет в Лиссабоне (Португалия) 10–11 мая 2013 года.

5–7 ноября 2013 года в городе Нашвилл (Теннесси, США) пройдет ISA Automation Week 2013: Technology and Solution Event. ●



Участники заседания Президиума ISA РФ