

# Система контроля перемещения слитка

*Александр Аникин, Игорь Иерусалимов, Игорь Суковатин*

В статье описана система контроля перемещения горячего слитка для четырёхручьевой машины непрерывного литья заготовок, построенная на основе оптических бесконтактных измерителей «РАСТР». Представлены решения, направленные на повышение устойчивости измерителей к высоким температурам. Рассказано о сетевых возможностях системы и об оценке устойчивости технологического процесса непрерывной разливки стали по формируемым системой спектрам колебаний скорости слитка.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для металлургии непрерывная разливка является экономичным способом производства стальных заготовок. Современные машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) позволяют с высокой скоростью производить слитки с заданными структурными свойствами. При этом контрольно-измерительная аппаратура должна обеспечивать надёжное и достоверное слежение за продвижением слитка на всём протяжении от кристаллизатора МНЛЗ до порезки.

В большинстве МНЛЗ для слежения за скоростью и положением слитка используют импульсные датчики. Однако проведенные на Нижнетагильском металлургическом комбинате (НТМК) испытания показали, что существует хорошая альтернатива импульсным датчикам — бесконтактные оптические измерители корреляционного типа [1]. На основе выполненных исследований были разработаны промышленные оптические измерители «РАСТР», предназначенные для эксплуатации в составе контрольно-измерительной аппаратуры МНЛЗ.

## ПРОМЫШЛЕННЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ «РАСТР»

Результаты испытаний опытного образца оптического измерителя позволили выявить основные направления разработки промышленного варианта корреляционного измерителя. В первую очередь в связи с необходимо-

стью применения измерителя на МНЛЗ с числом ручьев более двух требовалось увеличить зону чувствительности (дальность действия) оптического измерителя. Если типичное расстояние от измерителя до слитка для крайних ручьев составляет 1600...1900 мм, то на четырёхручьевой МНЛЗ расстояние до центральных ручьев может достигать 3700...4000 мм от места размещения измерителя. При этом также необходимо было сохранить приемлемую точность измерения. С этой целью алгоритм обработки видеосигналов, использованный в работе [1], подвергся существенным изменениям. Для повышения точности и разрешающей способности корреляционного измерителя при расчёте были применены линейный фильтр и программные способы подавления вы-

сокочастотных шумов. Использованные программные способы позволили увеличить допустимое расстояние между измерителем и поверхностью контролируемого объекта до 4000 мм. Однако при этом время расчета значений измеряемых параметров возросло в 3-4 раза. К счастью, за последнее время значительно увеличилась вычислительная мощность встраиваемых компьютеров. Появление на рынке новых процессорных плат таких фирм, как Advantech, Diamond Sys-

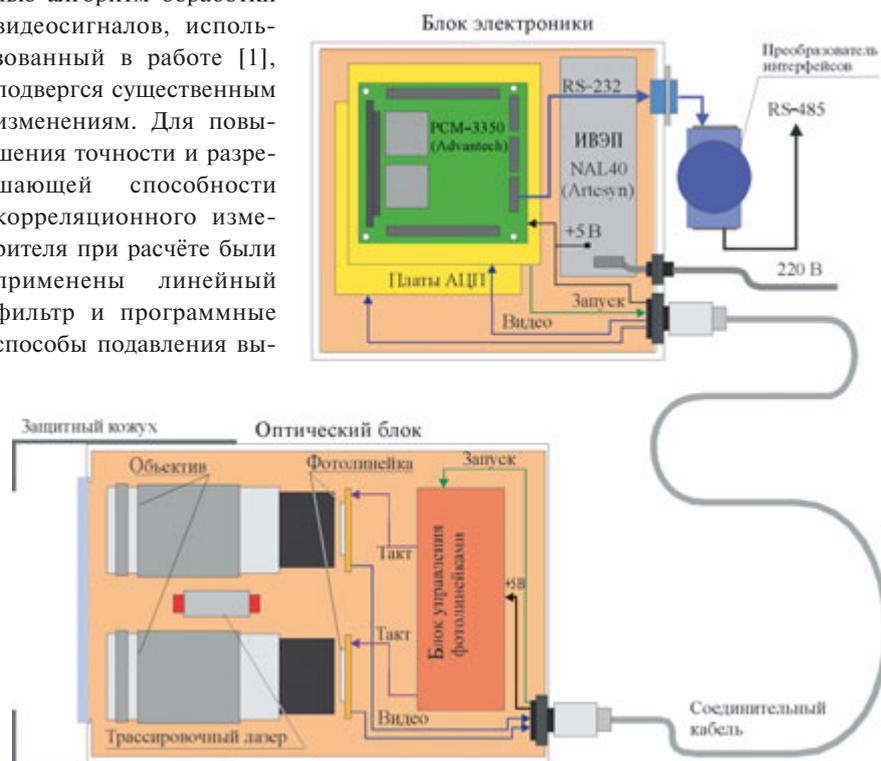


Рис. 1. Схема оптического измерителя «РАСТР»

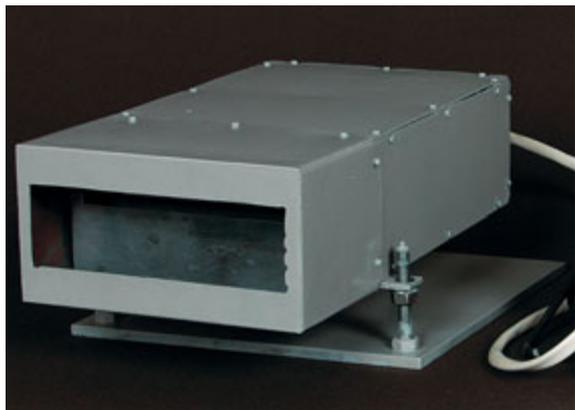


Рис. 2. Внешний вид оптического блока

tems, Fastwel, Lippert и др., полностью сняло проблему вычислительной мощности для корреляционного измерителя.

С учётом постоянного нахождения прибора в процессе эксплуатации вблизи горячих слитков в разработанных оптических измерителях «РАСТР» дополнительно усилена теплозащита электронных компонентов. С этой целью была применена компоновка измерителя в виде двух составляющих: оптического блока и блока электроники. Такое решение позволило вынести часть чувствительных электронных компонентов за пределы интенсивного теплового воздействия.

На рис. 1 показана схема оптического измерителя «РАСТР», а на рис. 2 приведён внешний вид его оптического блока.

Оптический блок представляет собой стереокамеру с двумя объективами, которые формируют изображение поверхности объекта на линейных матричных фотоприёмниках — фотолинейках. Видеосигналы передаются по

кабелю связи в блок электроники, где производится вся их последующая обработка. В состав блока электроники, внешний вид которого показан на рис. 3, входят две специально разработанные платы АЦП для оцифровки видеосигналов, источник вторичного электропитания (ИВЭП) NAL40 фирмы Artesyn Technologies и встраиваемый компьютер

формата PC/104, в качестве которого был выбран процессорный модуль РСМ-3350 фирмы Advantech. Высокая производительность процессора (300 МГц) позволяет реализовать в режиме реального времени более сложный и точный алгоритм при расчёте перемещения объекта и расстояния до него. Малые размеры процессорного модуля способствовали существенному уменьшению габаритов всего блока электроники. Чрезвычайно удобным для настройки и калибровки оптического измерителя оказалось наличие у модуля РСМ-3350 интегрированного видеоадаптера. На этапе тестирования измерителя к электронному блоку подключаются дисплей и клавиатура, что позволяет легко настроить видеосигналы фотолинейек и параметры алгоритма обработки, причём такую настройку можно проводить не только в лабораторных условиях, но и непосредственно в месте установки измерителя вблизи горячего слитка.

Выдача информации оптическим измерителем производится по интерфейсу RS-232. Такой выбор оказался довольно удачным: во-первых, с по-

Таблица 1. Параметры информационной посылки

Наименование параметра	Единица измерения	Количество байтов
Длина слитка	мм	4
Мгновенная скорость	мм/с	2
Расстояние до поверхности объекта	мм	2

мощью преобразователей интерфейса RS-232 в RS-485 информацию можно передавать в удаленные контроллеры автоматизации МНЛЗ; во-вторых, благодаря не так давно появившимся шлюзам передачи данных от RS-232 в сеть Ethernet (TCP/IP), информацию от оптического измерителя можно непосредственно интегрировать в сетевое окружение цеха и предприятия.

Передаваемые данные не требуют дополнительной обработки и могут быть использованы непосредственно как информационной системой МНЛЗ, так и её автоматикой. Имеется в виду, что в цифровом виде передаются уже готовые мгновенные значения скорости слитка, а также значения длины и расстояния от измерителя до поверхности слитка. Информация выдается измерителем в виде посылок с частотой 8...16 раз в секунду. Пример структуры посылки показан в табл. 1.

### СИСТЕМА КОНТРОЛЯ

Система контроля перемещения слитка была реализована на четырёхручьева МНЛЗ. Оптические измерители располагались попарно с каждой стороны, сбоку от крайних ручьёв

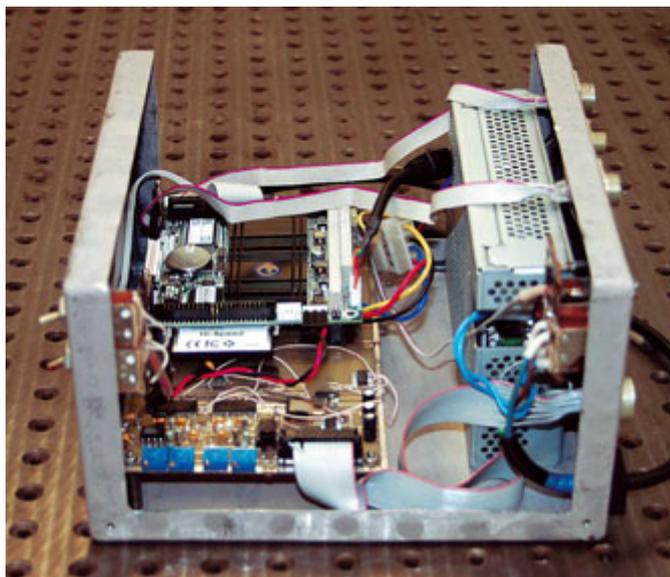


Рис. 3. Внешний вид блока электроники



Рис. 4. Оптические измерители «РАСТР» на четырёхручьева МНЛЗ

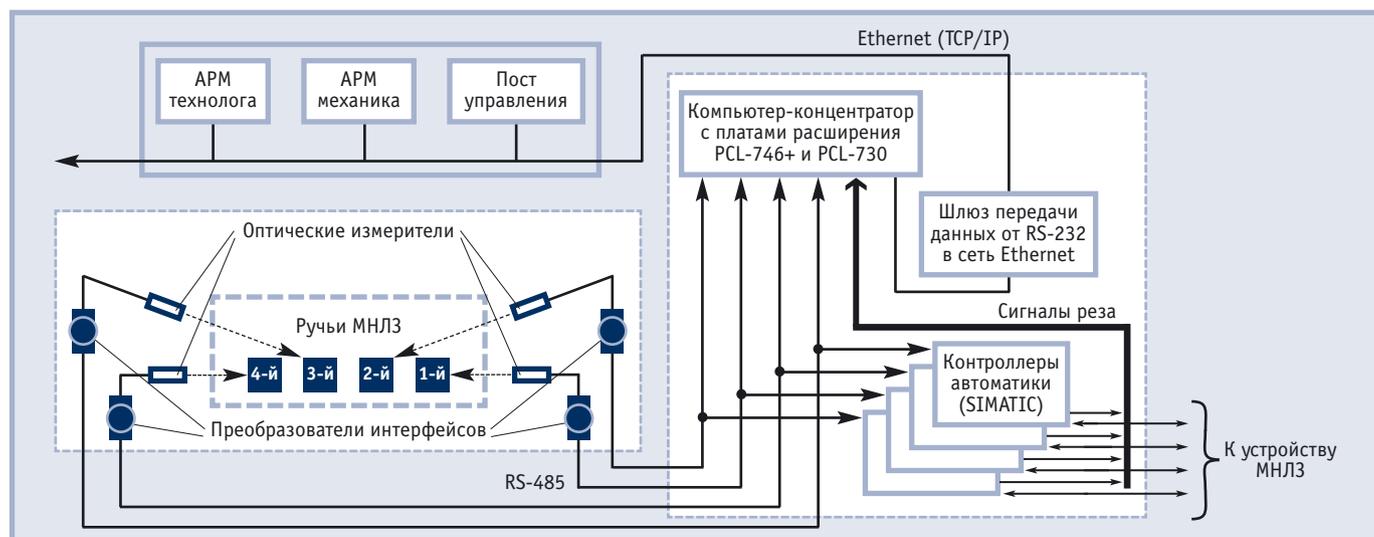


Рис. 5. Схема системы контроля перемещения слитка на четырёхручьевой МНЛЗ

МНЛЗ. Расстояние от оптических измерителей до крайних ручьев составляло 1800 мм. Центральные ручки находились на расстоянии около 3700 мм от измерителей. На рис. 4 приведена фотография двух измерителей «РАСТР», размещённых напротив первого и второго ручьев МНЛЗ. Несмотря на высокую температуру поверхности слитка (450...1100°C), принудительного охлаждения не потребовалось.

На рис. 5 показана схема системы контроля перемещения слитка на МНЛЗ. Измерители соединены кабелем связи с компьютером-концентратором, в котором вся информация запоминается и хранится в суточных файлах-архивах. Оптические измерители расположены напротив соответствующих ручьев МНЛЗ. Данные от измерителей с помощью преобразователей интерфейса RS-232 в RS-485 передаются на компьютер-концентратор

и контроллеры управляющей автоматизации SIMATIC (Siemens), расположенные в специальном помещении. Длина линии связи при этом составила 100...200 метров.

В качестве компьютера-концентратора использован промышленный компьютер с процессорной платой Celeron 800 МГц и платами расширения: мультипортовой интерфейсной и дискретного ввода-вывода. Для приёма информации от оптических измерителей используется хорошо себя зарекомендовавшая четырёхпортовая плата

последовательных интерфейсов PCL-746+ (Advantech). Для получения текущих значений длин отрезанных заготовок в компьютер вводятся сигналы реза от автоматики (длина заготовки вычисляется как разность определяемых с помощью измерителя текущих значений общей длины слитка, зафиксированных по двум последовательным сигналам реза). Эти сигналы принимаются и обрабатываются платой дискретного ввода-вывода PCL-730 (Advantech). Данные, поступающие в компьютер-концентратор, преобразуются в единую информационную посылку, которая выдаётся в его последовательный порт. Для передачи информации в заводскую вычислительную сеть Ethernet (TCP/IP) используется шлюз типа ADAM-4570. Благодаря применению такого шлюза была значительно облегчена разработка программного обеспечения для компьютера-концентратора.

Контроллеры SIMATIC, составляющие основу штатной автоматики

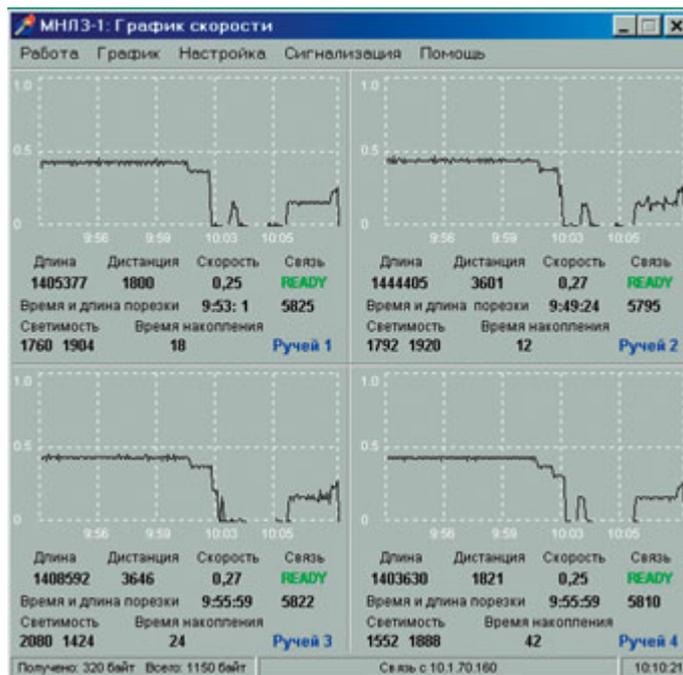


Рис. 6. Рабочее окно программы с графиками скорости разливки

МНЛЗ, получают информацию от оптических измерителей через стандартные коммуникационные модули.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ

В течение более чем полугода после ввода в эксплуатацию разработанной

системы контроля перемещения слитка постоянно производилось сравнение выдаваемых ею данных с реальной длиной порезанных заготовок. За это время было выявлено, что точность определения длины слитка оптическими измерителями составила порядка 0,15...0,2%.

Построенная на основе оптических измерителей система контроля позволяет передавать данные о положении и скорости перемещения слитка, ходе техпроцесса разлива, состоянии измерительных устройств и т.д. на подключенные к общезаводской сети компьютеры рабочих мест технологического, ремонтного и административного персонала. Выдача информации в вычислительную сеть происходит практически в режиме реального времени с частотой один раз в 4...10 секунд. Важно отметить, что на все компьютеры рабочих мест специалистов поступает от системы информация одного типа и что на этих компьютерах установлена од-

на и та же программа-клиент. Данная программа работает в операционной среде Windows 95/98 и не требует большой производительности компьютера.

На рис. 6 показано одно из рабочих окон программы-клиента. Представленное окно программы разделено на четыре области, соответствующие четырём ручьям МНЛЗ. В каждой области отображается своя текстовая и графическая информация.

Текстовая информация включает в себя данные об общей длине слитка, расстоянии от оптического измерителя до слитка, текущей скорости разливки, наличии связи между измерителем и компьютером-концентратором, времени и длине текущей порезки. Для оперативного обслуживания системы немаловажное значение имеют также входящие в состав текстовой информации данные о таких параметрах, как светимость и время накопления, которые непосредственно характеризуют работу фотодиодов оптических измерителей.

Графическая информация показывает изменение скорости разливки во времени. Например, графики на рис. 6 отражают момент, соответствующий технологической операции замены промковша на МНЛЗ, когда скорость разливки по всем ручьям уменьшается до нуля, а затем после замены промковша и возобновления разливки постепенно увеличивается.

Используемые в системе оптические измерители являются безынерционными и позволяют регистрировать быстрые и мгновенные изменения скорости слитка. Проведённые исследования показали, что разработанные оптические измерители регистрируют колебания скорости слитка, вызванные качанием рамы кристаллизатора МНЛЗ [2]. Если применить быстрое преобразование Фурье к регистрируемой зависимости мгновенной скорости слитка от времени, то можно получить спектр колебаний скорости слитка. В системе контроля непрерывно производится расчёт данного спектра, и его график также передается по общезаводской сети. На рис. 7 показано рабочее окно программы, которое в

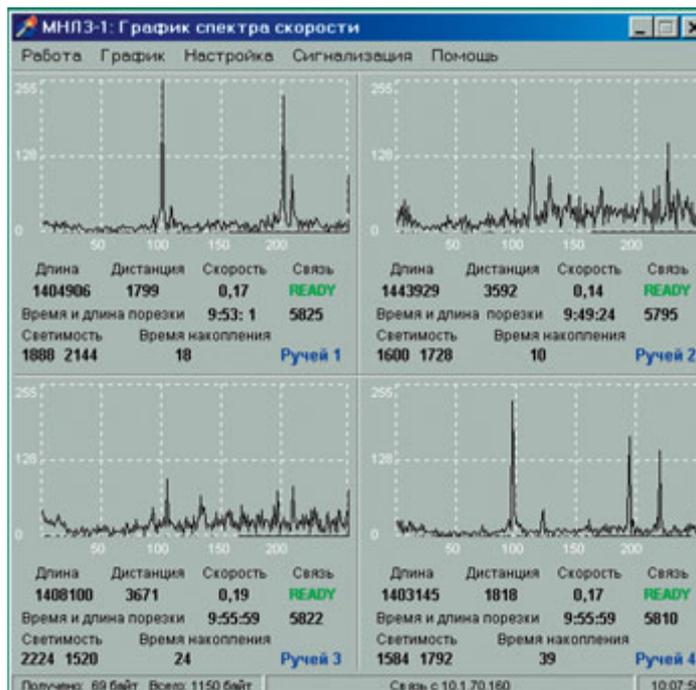


Рис. 7. Рабочее окно программы с графиками спектра колебаний скорости слитка

области графической информации отображает текущий спектр колебаний скорости слитка по каждому из ручьёв МНЛЗ.

Спектр колебаний скорости слитка содержит информацию о характере взаимодействия между кристаллизатором МНЛЗ и слитком. Известно, что кристаллизатору сообщают возвратно-поступательное движение с некоторой частотой  $f_0$  для предотвращения прилипания корки слитка к его стенкам. Значение  $f_0$  находится в диапазоне до 300 колебаний в минуту. В общем случае возвратно-поступательные движения кристаллизатора приводят к появлению в спектре колебаний скорости слитка нескольких пиков. Например, представленные на рис. 7 спектры имеют основной пик примерно на частоте  $f_0$  (для первого ручья МНЛЗ  $f_0=110 \text{ мин}^{-1}$ ) и пик на удвоенной частоте колебаний кристаллизатора ( $2f_0$ ). Как показано в работе [2], амплитуда основного спектрального пика на частоте  $f_0$  характеризует величину трения между стенками кристаллизатора и коркой слитка, а наличие спектрального пика на частоте  $2f_0$  и его амплитуда свидетельствуют о степени проявления эффекта прилипания корки слитка к стенкам кристаллизатора. В общем случае на основании спектра колебаний скорости слитка представляется возможным судить об устойчивости тех-

нологического процесса разливки на МНЛЗ и выявлять ситуации, ведущие к его нежелательному развитию.

Помимо описанных, в спектре колебаний скорости слитка могут возникать и другие пики, но их появление обусловлено, как правило, износом или неисправностью механической части МНЛЗ.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе эксплуатации системы контроля перемещения слитка, построенной на основе оптических измерителей, накоплен значительный объём информации, который позволяет в дальнейшем формализовать и ввести новые технологические парамет-

ры, характеризующие устойчивость процесса разливки на МНЛЗ. Следует отметить, что благодаря подключению разработанной системы контроля к общезаводской вычислительной сети персонал, ответственный за разливку, может практически в режиме реального времени получать информацию о ходе технологического процесса и состоянии самой МНЛЗ.

Первоначальный ожидаемый экономический эффект от внедрения системы составляет около 900 тыс. руб. в год. Однако в ходе промышленной эксплуатации системы его величина может значительно вырасти за счет выявления новых возможностей контроля технологических процессов, реализовать которые традиционными средствами было бы затруднительно, а то и невозможно. ●

### ЛИТЕРАТУРА

1. Аникин А.В., Иерусалимов И.П., Суковатин И.В. Оптический измеритель скорости слитка машины непрерывного литья заготовок // Современные технологии автоматизации. — 2001. — № 4.
2. Иерусалимов И.П., Суковатин И.В. Исследование динамики продвижения слитка МНЛЗ при разливке // Сталь. — 2003. — № 4.

**Авторы — сотрудники  
Нижнетагильского  
металлургического комбината  
Телефоны: (3435) 49-0087, 49-0022**