

Гасияров В.Р.

Южно-Уральский государственный университет (НИУ)

СОГЛАСОВАНИЕ СКОРОСТЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ НАЖИМНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ ПРОФИЛЯ РАСКАТА

Названы причины отклонений ширины раската при прокатке на толстолистовом стане. Показано, что эффективным способом улучшения формы листа в плане является прокатка с формированием двойного конического профиля на концах раската. Представлены режимы прокатки с автоматическим контролем профиля (ASC) как передовой технологии, применяемой на современных станах. Отмечены недостатки, основным из которых является несоответствие скорости выхода металла из валков и линейной скорости ролланга перед клетью при перемещении нажимных устройств (НУ). Другим недостатком является неудовлетворительная точность компенсации перекаса зазора валков по сторонам прокатки, определяемая настройкой регулятора контроля выравнивания прокатки (RAC). Рассмотрены схема и принцип действия системы автоматического регулирования толщины (САРТ) реверсивной клетки стана 5000. Предложен способ управления, согласно которому осуществляется коррекция скорости валков пропорционально перемещению НУ. Показана схема реализации способа в структуре действующей САРТ. Обосновано применение пропорционально-дифференциального RAC-регулятора, даны рекомендации по его настройке. Представлены осциллограммы усилий прокатки и корректирующих сигналов на гидравлические НУ, подтверждено снижение перекаса зазора валков. Рассмотрены осциллограммы координат НУ и скоростей электроприводов в режиме формирования обратного конического профиля на хвостовом участке раската для случаев проектной и рекомендуемой настройки RAC-регулятора. Сделаны выводы о снижении ошибки согласования зазоров со стороны электропривода и со стороны поста оператора. Даны рекомендации по практическому внедрению предложенных технических решений.

Ключевые слова: толстолистовой прокатный стан, профилированная прокатка, реверсивная клеть, система автоматического регулирования толщины, электропривод, скорость, коррекция, гидравлические нажимные устройства, зазор, RAC-регулятор, настройка, экспериментальные исследования, рекомендации.

ВВЕДЕНИЕ

Технологический процесс прокатки на толстолистовых станах включает следующие операции: протяжку – прокатку сляба в продольном направлении за один либо несколько проходов с небольшими обжатиями с целью регулирования формы боковых граней, разбивку ширины – прокатку в поперечном направлении с целью формирования необходимой ширины листа и продольную чистовую прокатку. Уменьшение сечения на первых двух стадиях вследствие относительно большой толщины проката сопровождается значительным изменением его ширины (уширением). Это связано с тем, что при высоком очаге деформации имеет место деформация в поперечном относительно оси прокатки направлении. Это приводит к отклонению формы листа в плане (в проекции сверху) от прямоугольной и, как следствие, к увеличению боковой и торцевой обрезки.

Наибольшее уширение проявляется на переднем и заднем концах раската. Поэтому при дальнейшей прокатке на концах раската и по боковым кромкам образуются участки неправильной формы, показанные на **рис. 1**, вызывающие потери в обрезь до 5–7%. Распределение торцевой 1 и боковой 2 обрезки, выделенной штриховкой, зависит от соотношения суммарных обжатий при поперечной и продольной прокатке. По мере увеличения деформаций при поперечной прокатке количество концевой обрезки уменьшается.

Исследованию способов снижения потерь металла с обрезью и улучшению геометрической формы листов посвящены исследования многих авторов, в том числе [1–4]. В работе [5] выполнен анализ способов снижения расходного коэффициента за счет регулируемого изменения формы раската.

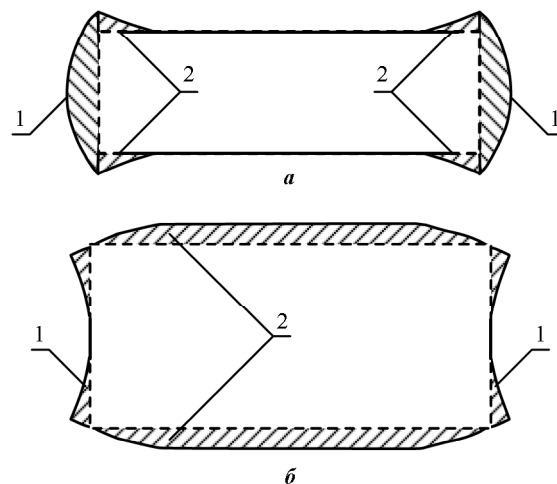


Рис. 1. Форма листа в плане при продольной (а) и при поперечной (б) схемах прокатки на толстолистовом стане; 1 – торцевая обрезь, 2 – боковая обрезь

К основным способам относятся: косая прокатка, изменение поперечного профиля сляба, предварительное обжатие вертикальными валками и др. Показано, что наиболее эффективным способом улучшения формы листа в плане является прокатка с профилированием широких граней раската горизонтальными валками (профилированная прокатка). Суть этого способа заключается в том, что в последнем пропуске при протяжке или разбивке ширины производят деформацию раската с переменным обжатием по длине с тем, чтобы скомпенсировать дальнейшее отклонение его формы от прямоугольной. В результате формируется двойной конический профиль толщины, получивший название «собачья кость». В направлении создания систем, обеспечивающих реализацию данного способа, следует отметить публикации специалистов SMS-Demag [6],

японских фирм Nippon Steel, Sumitomo Metal Corporation [7, 8] и др.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для практической реализации способа профилированной прокатки применяются несколько технологий: MAS-прокатка, EGO-прокатка, Plan View Control (управление геометрией) [8–10]. Для обеспечения практически полной прямоугольности листа в плане на современных станах применяется автоматический контроль профиля (ASC), схемы которого показаны на **рис. 2**. Поскольку неровности краев встречаются на головном и хвостовом участках, а также на кромках листа, функция ASC применяется на разных этапах прокатки. Для воздействия на форму головной и хвостовой частей на повернутом листе применяется конический профиль, показанный на **рис. 2, а**. В свою очередь, форма кромки листа улучшается при использовании ASC после последнего калибровочного пропуску (**рис. 2, б**).

Функции формирования переменного профиля по длине раската обеспечиваются системой автоматического регулирования толщины, управляющей гидравлическими нажимными устройствами (ГНУ). Ниже этот процесс рассматривается на примере ГНУ и САРТ толстолистового стана 5000, рассмотренных в публикации [11]. В этом режиме задание на скорость перемещения ГНУ формируется в функции длины и, соответственно, скорости движения металла.

Регулирование зазора при прокатке профилированных участков приводит к изменению фактической скорости движения металла на входе в клеть и выходе из клетки. В результате возникают нарушения равенства секундных объемов металла на рольгангах и в очаге деформации, что приводит к нарушению скоростного режима прокатки.

Кроме того, исследования показали, что на точность формирования переменной толщины по длине и, соответственно, на конечную форму листа оказывает влияние разность усилий, формируемых гидроцилин-

драми по сторонам прокатки (слева и справа по ходу движения металла). Это приводит к возникновению «перекоса» раствора валков и искажению профиля «собачья кость» (пояснения к терминам «зазор» и «раствор валков» даются ниже). Разница усилий прокатки обусловлена следующими факторами:

- разницей температур на стороне привода и стороне оператора;
- лист прокатывается не по центру стана;
- коробоватостью подката [12].

Перекас раствора валков приводит к увеличению разнотолщинности по ширине раската, а также появлению дефекта «серповидность» [12]. Эти показатели отрицательно сказываются на качестве конечной продукции, поэтому целесообразна разработка технических решений, направленных на устранение указанных недостатков.

Для компенсации перекаса раствора служит RAC-регулятор, который выравнивает растяжение клетки в случаях, когда усилия по сторонам различаются. Он поддерживает заданное усилие, воздействуя на гидравлические НУ. На вход регулятора последовательно подаются уровни усилий из таблицы, которая хранится в программном обеспечении АСУ ТП стана. Заполнение таблицы происходит автоматически при длинной калибровке (после перевалки валков) по специальной программе. Отклонения профиля от заданного и, соответственно, форма листа в плане зависят от точности согласования давлений в левом и правом гидроцилиндре, которая определяется настройкой RAC-регулятора. Ниже рассмотрены усовершенствования в структуре САРТ, обеспечивающие согласование скоростей валков и рольганга при перемещении НУ. Также представлены рекомендации по настройке RAC-регулятора, обеспечивающие повышение точности регулирования раствора по сторонам прокатки и, соответственно, компенсацию разнотолщинности по ширине раската.

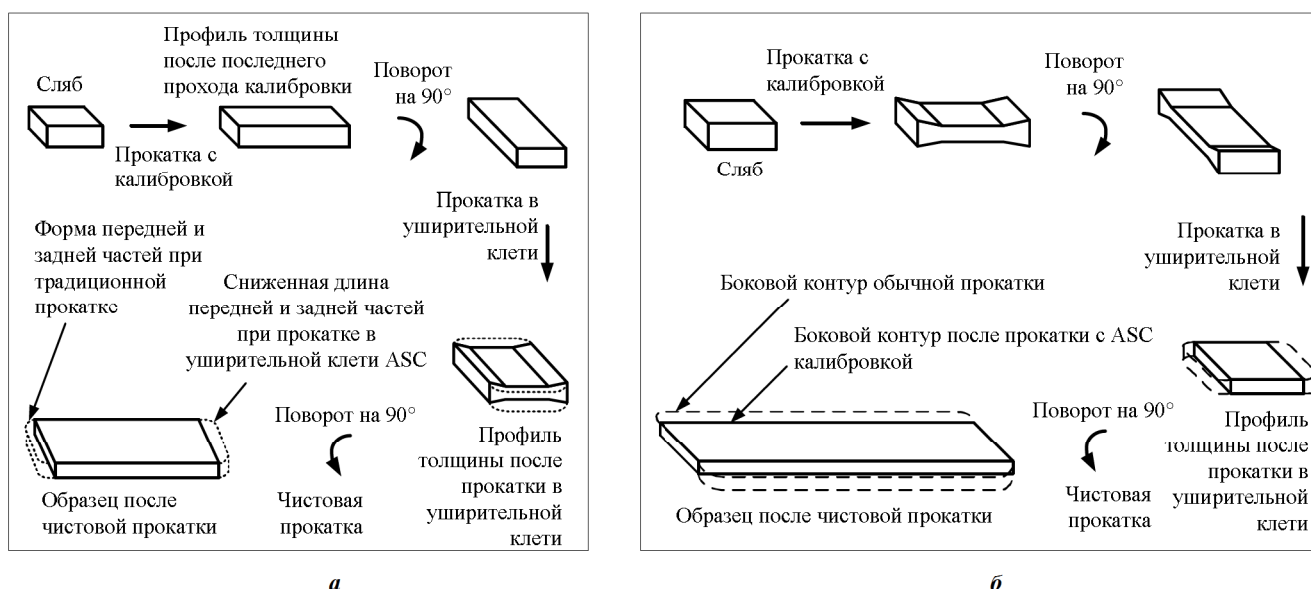


Рис. 2. Схемы прокатки по технологии ASC

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Характеристика САРТ стана 5000

Принцип действия САРТ основан на известном уравнении Головина-Симса [13]. Он поясняется характеристиками, представленными на **рис. 3**. Поскольку во время прокатки невозможно измерить фактический раcтвор валков, он рассчитывается, по уравнению

$$h = S + g(F_w).$$

Таким образом, раcтвор валков h зависит от положения цилиндра S и растяжения клетки g , которое является функцией усилия прокатки F_w . Задачей САРТ является компенсация колебаний растяжений клетки, вызванных процессом прокатки, согласно уравнению

$$\Delta h = \Delta S + \Delta g(F_w).$$

Приращение толщины Δh при изменении зазора ΔS_0 зависит от коэффициентов (модулей) жесткости клетки M_G и полосы M_B :

$$\Delta h = \Delta S_0 \frac{M_G}{M_B + M_G}. \quad (1)$$

Схема системы вычисления сигнала толщины показана на **рис. 4**. Толщина раската определяется косвенным образом по сигналам от датчиков положения НУ, усилию прокатки и различных компенсаций (толщины масляной пленки в подшипниках, теплового расширения валка, износа валков и др.). Они показаны в виде сигналов, подаваемых на общий сумматор. Воздействие, формирующее сигнал на перемещение гидравлических НУ при профилированной прокатке, показано в виде сигнала ACS, который суммируется с сигналом коррекции зазора на головном и хвостовом участках и перечисленными компенсирующими воздействиями. Суммарный сигнал подается на вход регулятора положения ГНУ (на **рис. 4** не показан). Более подробно работа системы регулирования раcтвора валков и САРТ рассмотрена в [11].

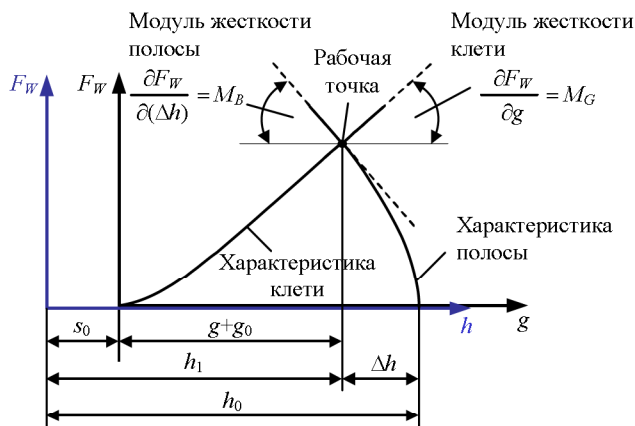


Рис. 3. Зависимость толщины на выходе клетки от величины зазора:

h_0 – толщина на входе; h_1 – толщина на выходе;
 S_0 – начальный зазор валков (без полосы)

Как отмечено выше, недостатком алгоритма управления прокаткой в проходах с профилированием является отсутствие коррекции скорости электроприводов валков при перемещении ГНУ. Необходимость такой коррекции вызвана тем, что на фактическую скорость металла помимо скорости вращения валков оказывают влияние отставание и опережение. Эти параметры определяются величиной межвалкового зазора и, соответственно, его изменением в процессе профилированной прокатки. При перемещении нажимных устройств возникает рассогласование реальной скорости металла и скорости роликов рольганга. Это приводит к возникновению ударов в электромеханических системах роликов, их разрушению и возникновению аварий. Кроме того, возрастает риск застревания раската при выходе на рольганг. Для устранения данных недостатков предложено осуществлять коррекцию скорости валков в проходах с автоматическим контролем профиля.

Коррекция скорости валков при перемещении ГНУ

Величину коррекции скорости при изменении обжатия можно определить из уравнения равенства секундных объемов (масс) металла на входе и выходе клетки [14]:

$$h_0 \cdot v_0 = h_1 \cdot v_1,$$

где v_0, v_1 – скорости металла на входе и выходе клетки.

С учетом выражения (1) приращение скорости металла на входе в клеть

$$\Delta v_0 = \frac{v_1}{h_0} \Delta S_0 \frac{M_G}{M_B + M_G}. \quad (2)$$

При реализации предложенного способа управления сигнал коррекции скорости электроприводов формируется звеньями, выделенными на **рис. 4** контуром. Регулирующий сигнал вычисляется по выражению (2) и подается в схему ограничения нагрузок электроприводов при захвате металла, реализованную в программе второго уровня АСУ ТП стана. Это обеспечивает пропорциональное регулирование скорости Δv_0 при возникновении приращения зазора валков ΔS_0 . В результате осуществляется автоматическое согласование скорости металла на входе в клеть и линейной скорости роликов рольганга.

Настройка РАС-регулятора

Структура РАС-регулятора показана на **рис. 5**. Целью регулирования является исключение перекаса раcтвора валков и искажения профиля раската. Для этого на вход регулятора подается нулевой сигнал, который сравнивается с фактическими величинами зазоров со стороны оператора (OS) и со стороны привода (DS).

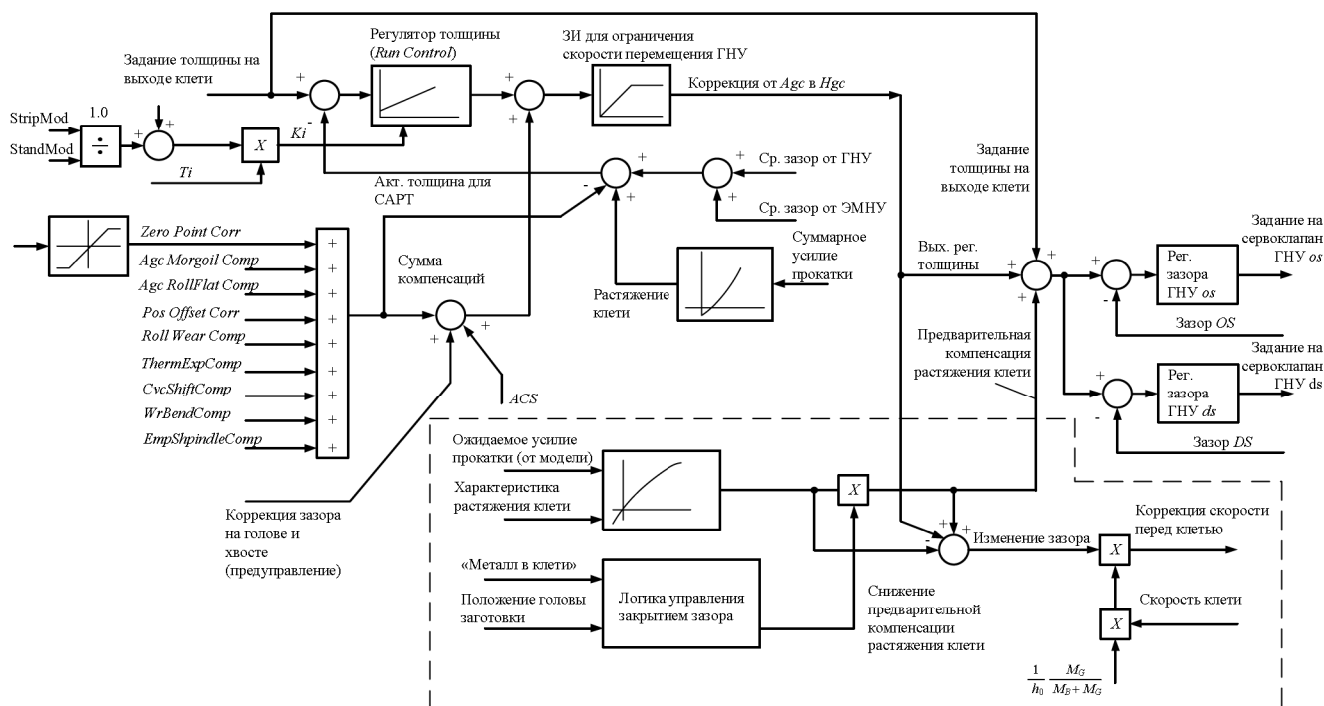
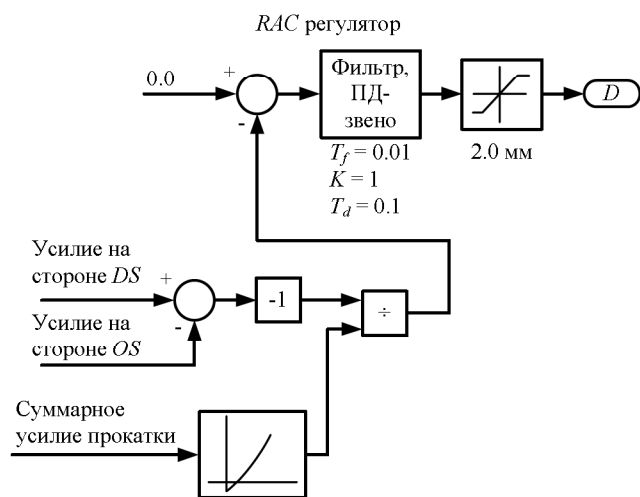


Рис. 4. Структурная схема расчета сигнала задания толщины в САПТ стана 5000


 Рис. 5. Структурная схема RAC-регулятора:
 T_f – постоянная фильтра; T_d – постоянная регулятора;
 K – коэффициент усиления

По фактическим усилиям в гидроцилиндрах на входе регулятора формируется задание на разницу толщины по краям заготовки (зазоров со стороны OS и DS). Эта величина вычисляется путем деления измеренного давления на валки (усилия) на модуль упругости полосы (Level Modulus). Кривая зависимости модуля упругости от усилия хранится в виде таблицы в файле АСУ ТП. На выходе регулятора D формируется задание, которое подается на регуляторы положения ГНУ и компенсирует разнотолщинность. Ограничение на выходе регулятора устанавливается с целью исключения недопустимых перекосов зазора. При прокатке тонкого раската и значительных перекосах возникает опасность соприкосновения краев верхнего и нижнего валков. Установленное ограничение

находится в диапазоне от 0,7 до 2 мм и зависит от профиля проката.

При настройке системы было обосновано применение пропорционально-дифференциального RAC-регулятора, который, по существу, регулирует отфильтрованную производную входного сигнала [15]. Причиной выбора является то, что регуляторы такого типа обеспечивают формирование управляющего воздействия с учетом как ошибки, так и скорости ее изменения. Введение регулирования по производной увеличивает скорость реакции системы. Это приводит к снижению погрешностей в динамическом режиме, вызванном перемещением нажимных устройств.

Работа RAC-регулятора иллюстрируется осциллограммой (рис. 6). Зафиксированы сигналы, пропорциональные усилиям прокатки по сторонам клетки (окно 1), разность этих сигналов (окно 2), выходной сигнал регулятора (окно 3) и корректирующие сигналы на соответствующие нажимные устройства (окно 4).

В начале прокатки имелся перекося по заданию раствора ГНУ, около 0,2 мм. По ходу прокатки (позже момента времени ~14:29:41) усилия по сторонам (окно 1) начинают расходиться. Появляется разность усилий, вследствие чего сигнал (окно 2) снижается. Выходной сигнал (окно 3) изменяется в области отрицательных значений. Действие регулятора приводит к изменению перекося раствора, в данном случае он уменьшается. Та сторона, которая нагружена больше (здесь OS), т.е. больше растянута от усилия прокатки, под действием регулятора уменьшает свой зазор. Соответственно, на стороне, имеющей меньшее усилие, зазор увеличивается.

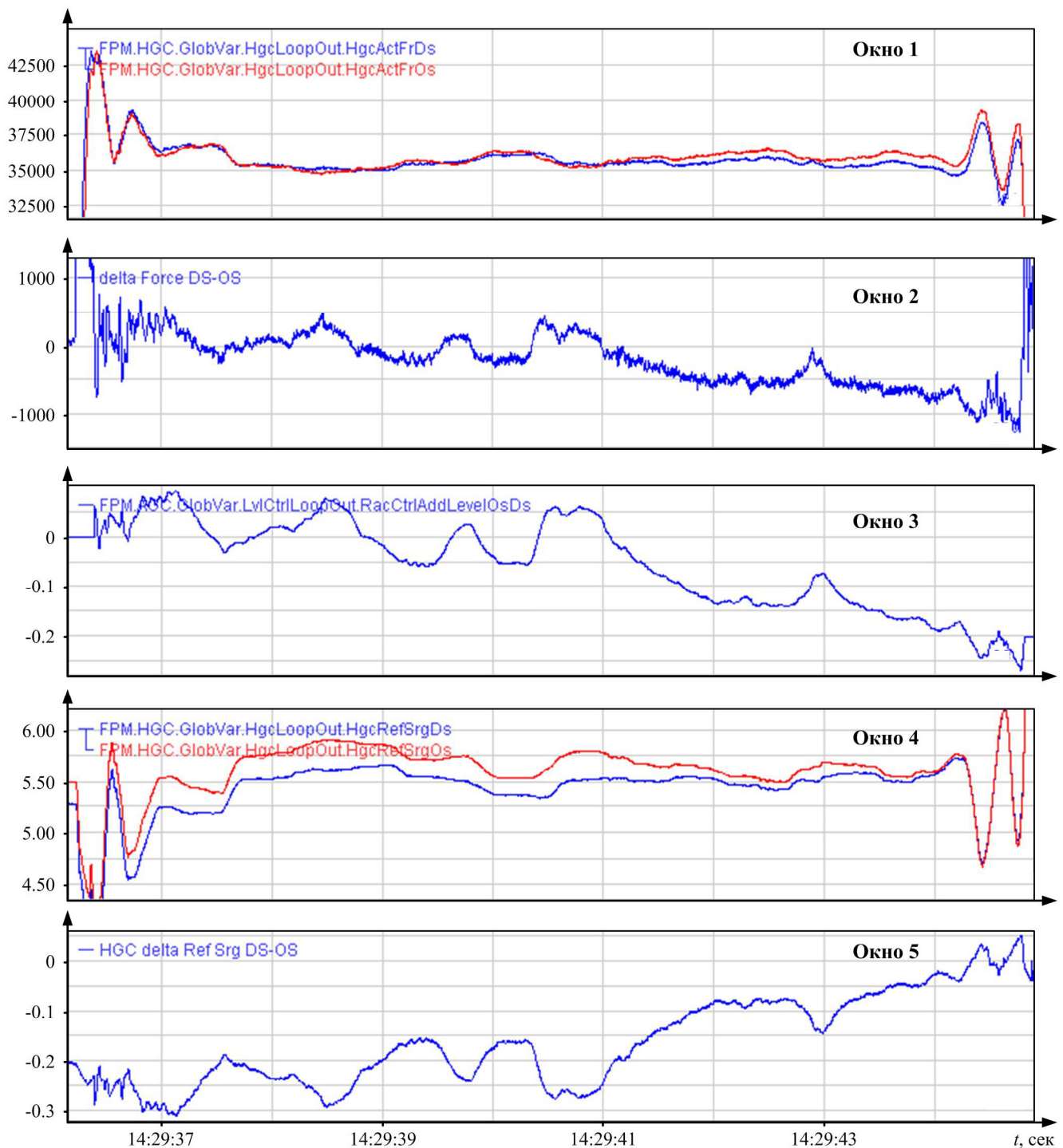


Рис. 6. Осциллограммы, поясняющие работу RAC-регулятора

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На рис. 7 представлены осциллограммы координат ГНУ и скоростей электроприводов, зафиксированные при прокатке в проходе с профилированием. Они получены при проектной настройке системы (рис. 7, а) и при настройке RAC-регулятора с учетом внесенных изменений (рис. 7, б). Как следует из графиков задания толщины и фактической толщины (кривые 1, 2 на обоих рисунках), исследуется формирование конического профиля на хвостовом участке проката в режиме разведения валков. Решение исследовать данный режим, а не режим сведения валков, принято исходя из того, что на формирование конического профиля на голов-

ном участке накладывается режим изгиба переднего конца полосы (лыжеобразования). Это оказывает влияние на исследуемые переходные процессы и соответственно искажает анализируемую картину.

Формирование профиля переменной толщины обеспечивается перемещением гидравлических НУ вверх. Позиции НУ со стороны привода (кривые 3) и со стороны оператора (кривые 4) показаны в окне 2. В окне 3 приведено усилие прокатки, которое в установившемся режиме составляет около 25 МН, а к окончанию динамического процесса снижается до нуля. В окне 4 представлены осциллограммы заданных и фактических скоростей главных электроприводов верхнего (ВГП) и нижнего (НГП) валков.

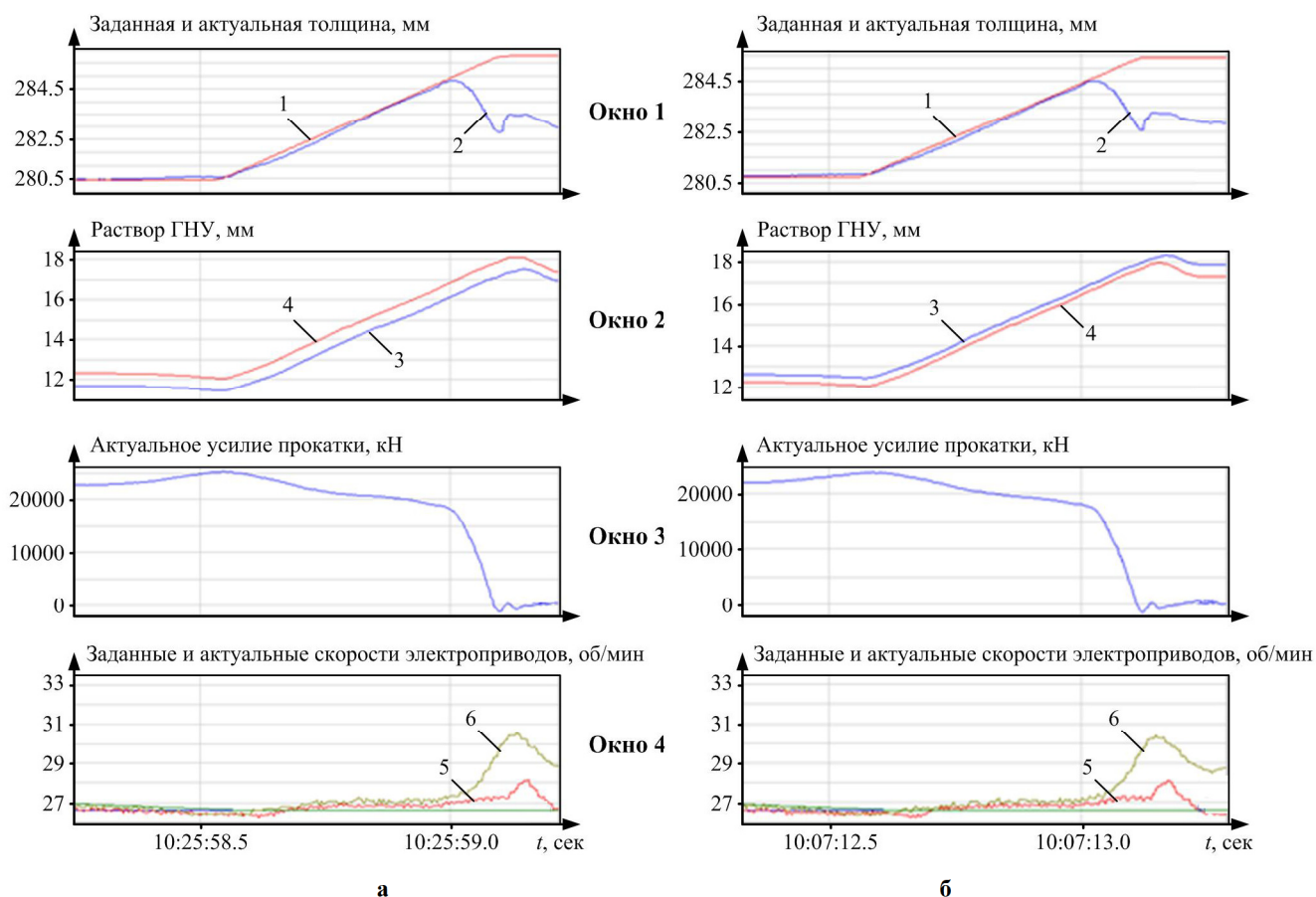


Рис. 7. Осциллограммы координат параметров прокатки в проходе с профилированием

Анализ трендов изменения зазора (окно 2 на рис. 7, а) и скоростей ВПП и НПП (окно 4) позволил выявить следующие недостатки проектной системы:

1. Возникает существенное различие позиций гидравлических НУ, расположенных со стороны привода и со стороны поста оператора. Разница между этими позициями в каждой точке на участке перемещения НУ составляет около 8,3% (1 мм относительно установившегося значения при прокатке, равного 12 мм). На других подобных осциллограммах «перекос» зазора достигает 12,5% или 1,5–2 мм. Это вызвано тем, что согласно проекту принята пропорциональная структура RAC-регулятора. При такой настройке возникает статическая ошибка регулирования положения НУ, что наглядно демонстрируется осциллограммами в установившемся режиме по окончании перемещения НУ. В режиме перемещения НУ дополнительно возникает динамическая ошибка регулирования (на осциллограммах не отслеживается).

2. Работа RAC-регулятора при проектной настройке рассчитана на обеспечение компенсации рассогласований в диапазоне нескольких процентов. При указанном отличии положений НУ более 12% регулятор «не справляется» с заданной функцией.

Преодоление этих недостатков обеспечивается работой RAC-регулятора при внесенных изменениях. Это подтверждают осциллограммы на рис. 6, б. При предложенных настройках (постоянных времени) и компенсации динамической ошибки рассогласование зазоров по сторонам DS и OS снижается примерно в 2 раза.

При этом рассогласование меняет знак: кривая 3 на рис. 7, б располагается выше кривой 4, в то время как на рис. 7, а расположение обратное. Очевидно, что произошла некоторая «перекомпенсация» перекаса зазора.

Таким образом, представленный пример демонстрирует обоснованность выбора структуры и настроек RAC-регулятора. Кроме того, экспериментально подтверждена автоматическая коррекция скоростей электроприводов валков во время перемещения нажимных устройств. Однако в связи с тем, что величина обжатия при профилировании составляет менее 2% заданной толщины (на рис. 7 перемещение НУ составляет 5 мм при толщине раската ~285 мм), коррекцию скорости достаточно сложно подтвердить визуально.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные алгоритмы обеспечивают автоматическое регулирование скорости валков и, соответственно, металла пропорционально перемещению гидравлических нажимных устройств в проходах с профилированием. Результаты экспериментальных исследований, выполненных на стане 5000, подтвердили удовлетворительную точность согласования скоростей металла на входе в клеть и роликов рольганга. Это обеспечивает снижение динамических нагрузок электромеханических систем рольганга.

Более точное согласование скорости перемещения нажимных устройств и линейной скорости металла обеспечивает повышение точности формирования профиля заготовки «собачья кость». Кроме того, за счет увеличения быстродействия RAC-регулятора

обеспечивается повышение точности регулирования межвалкового зазора по сторонам прокатки. За счет этого снижается разнотолщинность по ширине раската.

В целом, результаты исследований подтвердили эффективность внедрения разработанных алгоритмов согласования скоростей электроприводов и гидравлических нажимных устройств при автоматическом контроле профиля раската. Технический эффект заключается в снижении дефекта «серповидность», повышении точности формы раската в плане и, соответственно, улучшении «геометрии» готового листа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Трайно А.И. Исследование и разработка ресурсосберегающих режимов производства листовой стали: автореф. дис. ... доктора техн. наук. – Москва: Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН. 2009. 51 с.
- Руденко Е.А., Юрейко А.З. Исследование влияния локальных обжатий на горизонтальном прессе угловых участков торцов слябов на форму слябов в плане // Металлургия и обработка металлов. Донецк, 2007. <http://www.masters.donntu.org/2010/fmf/borzenkov/library/tez5.htm>
- Ткаченко О.Ф., Руденко Е.А. Расчёт параметров формы раскатов в плане по проходам на стадиях черновой прокатки толстых листов. <http://masters.donntu.org/2016/fmf/tkachenko/library/article1.htm>
- Шабалов И.П. Исследование формообразования раскатов на толстолистовом стане 2800// Производство проката. №8. 2004. С. 2-8.
- Khramshin V.R., Khramshina E.A., Karandaev A.S., Gasiyarov V.R., Voronin S.S. Control Methods and Systems Providing Reduced Consumption Index at Rolled Product Manufacture at Plate Mill. Proceedings of the IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIConRus). 2017. Pp. 1540-1544. DOI: 10.1109/EIConRus.2017.7910865.
- Fascinating heavy plate //SMS-group – <https://www.sms-group.com/sms-group/downloads/download-detail/17549>.
- Latest Plate Production Technology of Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation / Yuji Nomiyama, Takeo Yazawa, Hirotsugu Yasui // Nippon Steel & Sumitomo metal technical report No.110. September 2015. P. 8-16.
- Development of new plane view control technique in plate rolling (NCC-DBR) // Nippon Kokan Technical Report. 1983. No.39. P. 21-30.
- Heavy plates with special process design to meet extreme customer requirements / Oswald W., Streisselberger A., Thul R., Nehrenberg M. -J., Kirsch J. // METEC Congr. 94: 2nd Eur. Continuos Cast. Conf. and 6 th Int. Roll. Conf., Dusseldorf, June 20-22, 1994: Proc. Vol. 2. Dusseldorf, 1994. P. 42-51.
- New developments in improving shape control, yield and flexibility of heavy plate mills / Aqrusti K., De Vito A., Liquori A.G., Paolicchi M. // METEC Congr. 94: 2nd Eur. Continuos Cast. Conf. and 6 th Int. Roll. Conf., Dusseldorf, June 20-22, 1994: Proc. Vol. 2.- Dusseldorf, 1994. P. 86-92.
- Shubin A.G., Loginov B.M., Khramshin V.R., Evdokimov S.A., Karandaev A.S. System of Automated Control of Hydraulic Screw-down Mechanisms of Plate Mill Stand. Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS). 2015. 6 p. DOI 10.1109/MEACS.2015.7414858.
- ГОСТ 26877-91. Металлопродукция. Дата введения 01.07.92.
- Тонкослябовые литейно-прокатные агрегаты для производства стальных полос / В.М. Салганик, И.Г. Гун, А.С. Карандаев, А.А. Радионов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. 506 с.
- Бычков, В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. М.: Высшая школа, 1977. 391 с.
- Справочник по проектированию электропривода, силовых и осветительных приборов / под ред. Я.М. Большама, В.И. Круповича, М.Л. Самовера М.: Энергия, 1975. 728 с.

Поступила в редакцию 27 сентября 2018 г.

INFORMATION IN ENGLISH

COORDINATION OF VELOCITIES OF ELECTRIC DRIVES AND HYDRAULIC SCREW-DOWN STRUCTURES IN AUTOMATIC CONTROL OF TRANSFER BAR CROSS-SECTION

Vadim R. Gasiyarov

Ph.D. (Engineering), Head of the Department of Mechatronics and Automation, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia. E-mail: gasiyarovvr@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9635-4716>.

The main causes of deviation in the width of a transfer bar at a plate mill are listed in the paper. It was shown that one of the effective ways to improve the sheet shape is to form a double conical profile at the ends of the transfer bar during rolling. The authors introduced the modes of rolling with automatic profile control as an advance technology applied at modern rolling mills. One of the disadvantages noted in the paper is the discrepancy between the speed of the metal leaving the rolls and the linear speed of the rolling table before the roll stand in the process of moving the screw-down structures. Another disadvantage is low accuracy of the skew compensation of the roll gap along the rolling sides, which is determined by the setting of the aligning control of rolling. The authors examined the mechanism and the operating principle of the system of automatic strip thickness control of the convertible stand of the plate mill 5000. A method of control is suggested, which adjusts the speed of rolls in proportion to the displacement of the screw-down structures. The mechanism implementing this method in the structure of the operating system of the automatic strip thickness control is shown

in the paper. The authors justified application of the proportional-differential RAC control and give some recommendations on its setting. Oscillograph records of rolling forces and correction signals on hydraulic screw-down structures are given and the decrease in the skew of the roll gap is confirmed. The research group considered the oscillograph records of screw-down structure coordinates and the velocity of electric drives in the process of forming inverted conic profile at the tail part of the transfer bar for the cases of design and recommended setting of the RAC control device. A conclusion was made about the decrease in the matching error of the gap at the side of the electric drive and at the side of the control pulpit. A number of recommendations on practical implementation of the suggested technical solutions are given.

Keywords: plate mill, grooved rolling, convertible stand, system of automatic thickness control, electric drive, adjustment, hydraulic screw-down structures, gap, RAC control device, setting, experimental studies, recommendations.

REFERENCES

1. Trayno A.I. *Issledovanie i razrabotka resursosberegayushchikh rezhimov proizvodstva listovoy stali. Avtoref. Diss. Doktora tekhn. nauk.* [Examination and development of resource-saving modes of sheet steel production. Abstract of D.Sc. Diss.]. Moscow: A.A. Baikov Institute of metallurgy and material science of the RAS. 2009. 51 p.
2. Rudenko E.A., Yureyko A.Z. Influence of local reductions of corner sections of slab ends on a horizontal press on the slab shape. *Metallurgiya i obrabotka metallov* [Metallurgy and metal treatment]. Donetsk, 2007. <http://www.masters.donntu.org/2010/fmf/borzenkov/library/tez5.htm> (In Russian)
3. Tkachenko O.F., Rudenko E.A. *Raschet parametrov formy raskatov v plane po prokhodam na stadiyakh chernovoy prokatki tolstykh listov* [Calculation of transfer bar shape parameters along the passes at the stage of roughing rolling of plates]. <http://masters.donntu.org/2016/fmf/tkachenko/library/article1.htm> (In Russian)
4. Shabalov I.P. Investigation of transfer bar shape forming on the plate mill 2800// *Proizvodstvo prokata* [Rolled stock production]. 2004, no. 8, pp. 2-8. (In Russian)
5. Khramshin V.R., Khramshina E.A., Karandaev A.S., Gasiyarov V.R., Voronin S.S. Control Methods and Systems Providing Reduced Consumption Index at Rolled Product Manufacture at Plate Mill. Proceedings of the IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIConRus). 2017. P. 1540-1544. DOI: 10.1109/EIConRus.2017.7910865.
6. Fascinating heavy plate //SMS-group – <https://www.sms-group.com/sms-group/downloads/download-detail/17549>.
7. Nomiya Yuji, Yazawa Takeo, Yasui Hirotugu. Latest Plate Production Technology of Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation. Nippon Steel & Sumitomo metal technical report. No. 110, September 2015, pp. 8-16.
8. Development of new plane view control technique in plate rolling (NCC-DBR). Nippon Kokan Technical Report. 1983, no. 39, pp. 21-30.
9. Oswald W., Streisselberger A., Thul R., Nehrenberg M.-J., Kirsch J. Heavy plates with special process design to meet extreme customer requirements. METEC Congr. 94: 2nd Eur. Continuous Cast. Conf. and 6 th Int. Roll. Conf., Dusseldorf, June 20-22, 1994: Proc. Vol. 2. Dusseldorf, 1994, pp. 42-51.
10. Aqrusti K., De Vito A., Liquory A.G., Paolicchi M. New developments in improving shape control, yield and flexibility of heavy plate mills. METEC Congr. 94: 2nd Eur. Continuous Cast. Conf. and 6 th Int. Roll. Conf., Dusseldorf, June 20-22, 1994: Proc. Vol. 2. Dusseldorf, 1994, pp. 86-92.
11. Shubin A.G., Loginov B.M., Khramshin V.R., Evdokimov S.A., Karandaev A.S. System of Automated Control of Hydraulic Screw-down Mechanisms of Plate Mill Stand. Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS). 2015. 6 p. DOI 10.1109/MEACS.2015.7414858.
12. GOST 26877-91. Metal products. Effective as of 01.07.92. (In Russian)
13. Salganik V.M., Gun I.G., Karandaev A.S., Radionov A.A. *Tonkoslyabovye liteino-prokatnye agregaty dlya proizvodstva stalnykh polos* [Thin slab casting-rolling machines for steel strip production]. Moscow: N.E. Bauman MG TU, 2003. 506 p. (In Russian)
14. Bychkov V.P. *Elektroprivod i avtomatizatsiya metallurgicheskogo proizvodstva* [Electric drive and automation of metallurgy]. Moscow: High School, 1977. 391 p. (In Russian)
15. *Spravochnik po proektirovaniyu elektroprivoda, silovykh i osvetitelnykh priborov* [Reference book on design of electric drive, power and illuminating equipment]. Under the editorship of Ya.M. Bolsham, V.I. Krupovich, M.L. Samover.M.: Energy, 1975. 728 p. (In Russian)

Гасияров В.Р. Согласование скоростей электроприводов и гидравлических нажимных устройств при автоматическом контроле профиля раската // *Электротехнические системы и комплексы*. 2018. № 4(41). С. 22-29. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-4\(41\)-22-29](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-4(41)-22-29)

Gasiyarov V.R. Coordination of Velocities of Electric Drives and Hydraulic Screw-down Structures in Automatic Control of Transfer Bar Cross-section. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2018, no. 4(41), pp. 22-29. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-4\(41\)-22-29](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2018-4(41)-22-29)