

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ СКОРОСТЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ КЛЕТЕЙ ШИРОКОПОЛОСНОГО СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ*

В.Р. Храмшин

*г. Магнитогорск, Магнитогорский государственный
технический университет*

SYSTEM OF AUTOMATIC SPEED CORRECTION OF STANDS ELECTRIC DRIVES OF WIDE-STRIP HOT ROLLING MILL

V.R. Hramshin

Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University

Сформулированы технологические требования к системе управления скоростными режимами при прокатке полос толщиной менее 2 мм. Рассмотрена система управления, обеспечивающая автоматическое пропорциональное регулирование скоростей клетей чистовой группы при управляющих и возмущающих воздействиях. Предложена система регулирования размера петли. Системы реализованы в виде цифровых алгоритмов в контроллерах АСУТП чистовой группы стана 2500 ОАО «ММК». В результате экспериментальных исследований доказано, что их внедрение обеспечивает повышение точности регулирования натяжения и толщины полосы.

Ключевые слова: прокатный стан, непрерывная группа, электропривод, скорость, система управления, внедрение, экспериментальные исследования.

The technological requirements to the control system of speed modes for rolling the strips of width less than 2 mm are stated. The control system which ensures the automatic proportional control of the finishing stands speed at control and perturbation actions is considered. The control system of loop size adjustment is suggested. The systems are implemented in the form of digital algorithms in Automatic Control System controllers for the finishing stand 2500 at JSC «Magnitogorsk Metallurgical Plant». The results of the experimental investigations prove that the implementation of the above mentioned systems ensures the improvement in accuracy of strips pulling and thickness adjustment.

Keywords: rolling mill, continuous group, electric drive, speed, control system, implementation, experimental investigations.

В истекшие два десятилетия существенно изменились потребности рынка в продукции прокатного производства. По данным фирмы «Voest-Alpine Industrieanlagenbau» (VAI, Австрия), спрос на все виды горячекатаной полосы, считающейся конечной продукцией, снижается [1]. Если в 1995 г. ее доля в общем объеме производства горячекатаной полосы составляла 48%, то в 2005 г. она составила 42% и эта тенденция продолжается. Одновременно растет спрос на тонкую горячекатаную полосу. Так, доля полосы толщиной 1,2–2 мм к 2005 г. составила 25 % за счет снижения спроса на полосу толщиной 2–25 мм (с 82 % в 1995 г. до 74 % в 2005 г.). Таким образом, общемировой тенденцией является переход на производство тонкой горячекатаной полосы, являющейся конечной рыночной

продукцией металлургического предприятия.

Производство тонкой полосы требует высокой точности регулирования натяжений, которые при прокатке тонких полос существенно влияют на разнотолщинность полосы по длине. Точность регулирования натяжений в межклетевых промежутках чистовой группы обеспечивается за счет совместного регулирования скоростей электроприводов взаимосвязанных клетей. Наиболее жесткими требованиями, предъявляемыми к системам управления скоростными режимами (СУРС), являются согласование скоростей в динамических режимах при захвате полосы валками и быстродействующая коррекция скоростей при возмущающих воздействиях, возникающих в процессе прокатки или при вмешательстве оператора.

* Работа выполнена в рамках государственного контракта с Минобрнауки РФ №16. 740.11.0072.

Вопросы совершенствования способов управления скоростными режимами становятся актуальными также в связи с внедрением промышленных контроллеров. Так, реконструкция главных электроприводов и АСУТП чистой группы стана 2500 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК») предопределила техническую возможность реализации алгоритмов управления скоростными и нагрузочными режимами на современном цифровом уровне.

Согласно требованиям при прокатке полос толщиной до 2 мм на стане 2500 разнотолщинность по длине не должна превышать $\pm(3,5-5) \%$ при повышении скорости на выходе чистой группы до 20 м/с. Вместе с тем реальные отклонения толщины при прокатке основного участка полосы находятся в пределах $\pm 12 \%$. Максимальные отклонения толщины при прокатке головного участка на тонких полосах составляют более 40%. При этом значительное влияние на толщину оказывают отклонения натяжений, связанные с отсутствием коррекции скоростей при захвате полосы последующими клетями.

Для повышения точности регулирования натяжения разработаны система и алгоритм каскадной коррекции скоростей предыдущих клеток чистой группы. Суть заключается в том, что корректирующие воздействия складываются и пере-

даются в направлении «против хода прокатки» [2]. В качестве опорной клетки используется последняя катающая клеть, что обусловлено требованиями к постоянству скорости полосы на выходе из чистой группы.

На рис. 1 приведена схема построения каскада для клеток Fx и Fx-1, где Fx – опорная клеть. В процессе прокатки при коррекции скорости клетки Fx необходимым условием является сохранение заданных натяжений полосы во всех межклетевых промежутках. С этой целью построен каскад, передающий процентные воздействия от изменения скорости клетки Fx на все предыдущие клетки. Эти воздействия передаются как при вмешательстве оператора, так и при возмущающих воздействиях от петледержателей, либо при изменениях межвалковых зазоров в процессе прокатки.

Важнейшей задачей при реализации каскадного регулирования скорости является повышение точности задания и регулирования высоты петли в межклетевом промежутке. С этой целью разработана система регулирования размера петли, которая корректирует скорость клетки, предшествующей петледержателю (рис. 2). Регулятор размера петли, воздействуя на задание скорости, устраняет разницу между заданной и фактической длинами полосы, что позволяет сохранить размер петли неизменным. Регулятор имеет пропорционально-интегральную

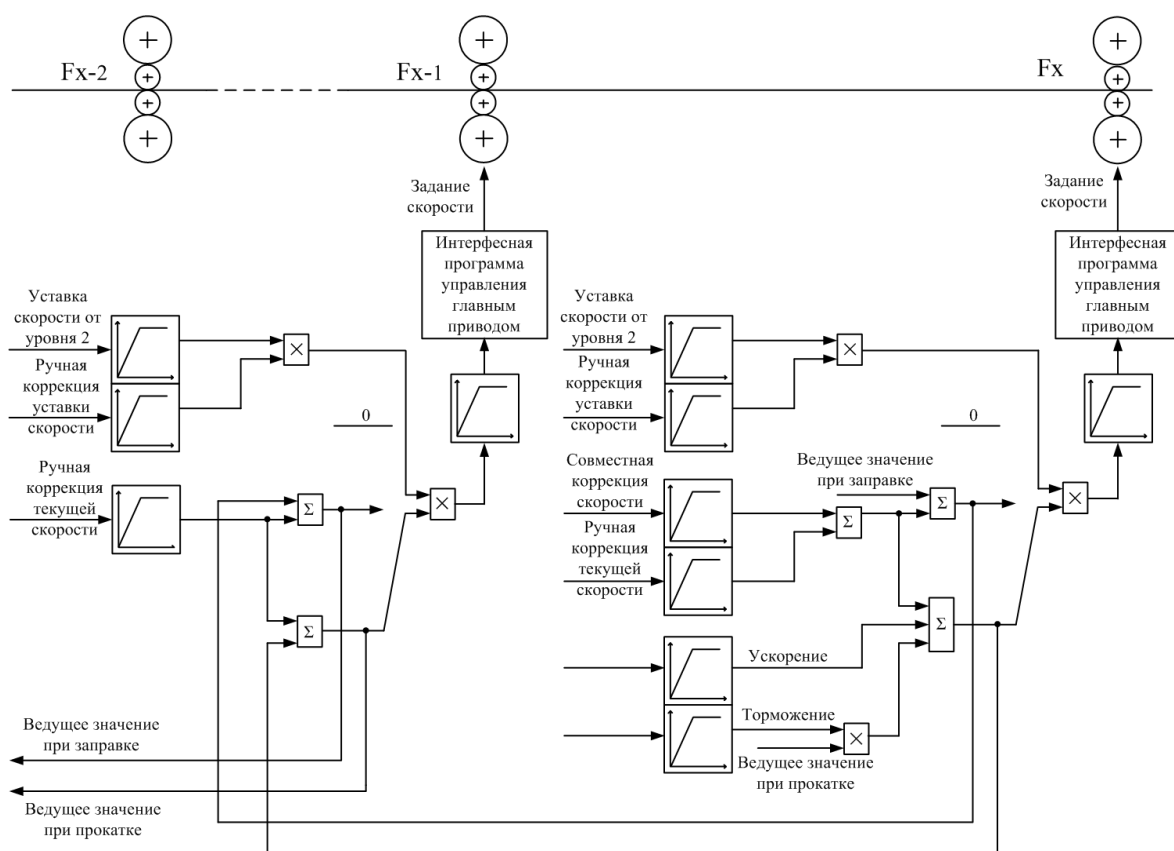


Рис. 1. Схема системы управления скоростными режимами с передачей регулирующего воздействия против хода прокатки

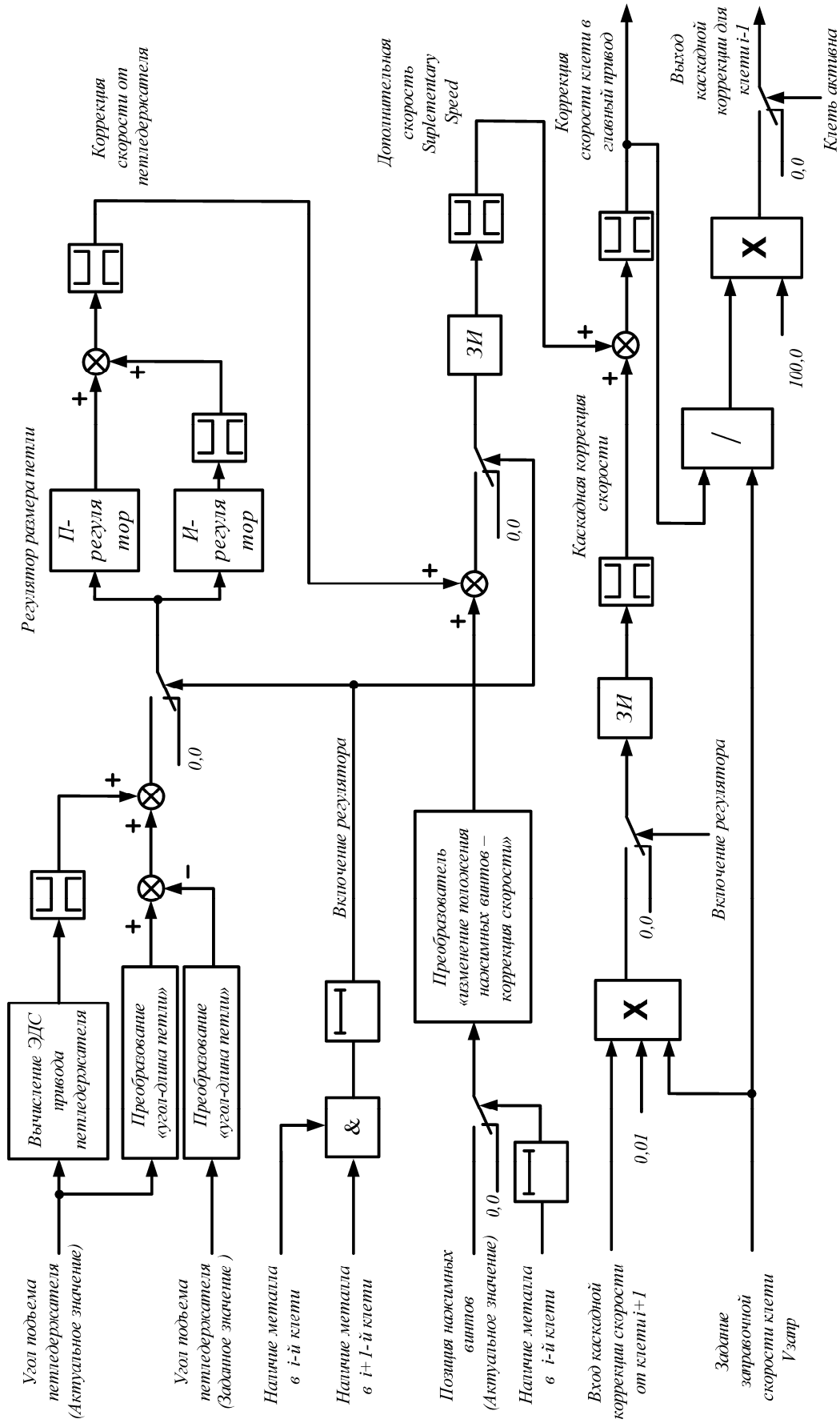


Рис. 2. Схема системы регулирования размера петли

характеристику, в качестве стабилизирующей связи контура коррекции положения петледержателя используется ЭДС его двигателя.

Заданием для регулятора является высота петли металла h_{set} над линией прокатки (рис. 3).

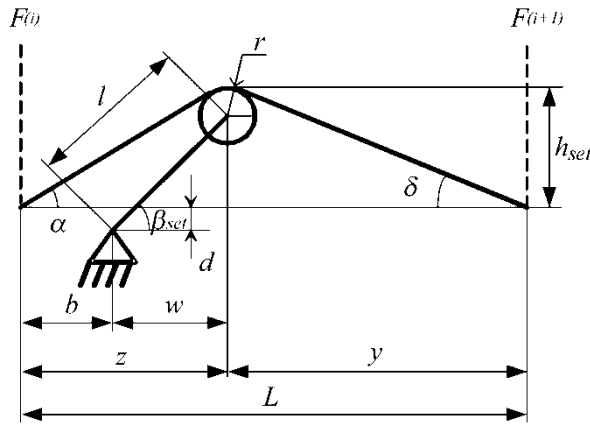


Рис. 3. Схема компоновки механизмов петледержателя

Вычисление рабочего угла подъема петледержателя β_{set} , соответствующего заданной высоте петли, производится по формуле:

$$\beta_{set} = \arcsin \frac{h_{set} + d - r}{l}.$$

Для вычисления длины петли используется формула:

$$X = \sqrt{h^2 + z^2} + \sqrt{h^2 + y^2}.$$

На основе заданной высоты петли h_{set} рассчитывается заданная длина полосы в межклетевом промежутке:

$$X_{set} = \sqrt{h_{set}^2 + \left[b + l \cos \left(\arcsin \frac{h_{set} + d - r}{l} \right) \right]^2} + \sqrt{h_{set}^2 + \left[l - \left[b + l \cos \left(\arcsin \frac{h_{set} + d - r}{l} \right) \right] \right]^2}.$$

В качестве сигнала обратной связи в системе используется фактический (актуальный) угол β_{Act} подъема петледержателя. По нему рассчитывается фактическая длина полосы:

$$X_{Act} = \sqrt{\left[(l \sin \beta_{Act}) - d + r \right]^2 + \left[b + l \cos \beta_{Act} \right]^2} + \sqrt{\left[(l \sin \beta_{Act}) - d + r \right]^2 + \left[L - \left[b + l \cos \beta_{Act} \right] \right]^2},$$

где $h = l \sin \beta - d + r$; $z = b + l \cos \beta$; $y = L - z$.

Рассмотренные технические решения внедрены в промышленную эксплуатацию в АСУТП чистовой группы стана 2500. В качестве базовых аппаратных средств при реализации СУРС применены контроллеры Simatic S7-400, модули удалённого ввода/вывода Simatic ET-200M, при этом связь осуществляется по интерфейсным каналам PROFIBUS и Ethernet

ТСП/Р. Изменения, вносимые в систему регулирования скорости, в этом случае относятся только к программному обеспечению промышленных контроллеров и не требуют использования дополнительных аппаратных средств, в том числе установки дополнительных датчиков технологических параметров.

Выполнены экспериментальные исследования динамических режимов при управляющих и возмущающих воздействиях. В ходе экспериментов получено более 150 осциллограмм при прокатке полос различного сортамента.

На рис. 4 приведены осциллограммы скоростей электроприводов клетей при захвате полосы. Задание скорости последней клетки остается неизменным, так как эта клетя является базовой по отношению ко всем остальным клетям чистовой группы. При этом скорости всех предыдущих клетей изменяются, обеспечивая необходимый запас металла в межклетевых промежутках. На осциллограммах задания скорости четко прослеживаются корректирующие изменения в моменты захвата полосы каждой из последующих клетей.

На рис. 5, а представлены осциллограммы реакции системы регулирования размера петли петледержателя №5 на изменение зазора валков клетки №10 при отключенной коррекции от САРТ [3]. Аналогичные осциллограммы при включенной схеме коррекции приведены на рис. 5, б. Изменение зазора валков на 10% (с 1,985 мм до 1,755 мм) на рис. 5, а компенсируется регулированием скорости клетки в ходе прокатки в течение более чем 2,5 с. Происходящее в это время снижение натяжения полосы сопровождается изменением угла подъема петледержателя на 20 град (на 55%), увеличением высоты петли и соответствующими отклонениями натяжения, которые отрицательно сказываются на точности регулирования толщины. Как следует из осциллограмм на рис. 5, б, введение автоматической коррекции от возмущения, вызванного изменением межвалкового зазора, обеспечивает постоянство угла подъема петледержателя и соответственно размеров петли при изменении зазора валков практически на ту же величину (на 9%).

Аналогично осуществляется каскадная коррекция скоростей клетей при появлении возмущающего воздействия, вызванного изменением положения петледержателя. Осциллограммы, наглядно характеризующие динамические процессы при увеличении угла подъема петледержателя №6 в последнем межклетевом промежутке, представлены на рис. 6. В момент времени 00.23.58 начинается увеличение угла подъема с 26,5 град до 34,5 град. В момент 00.24.00 происходит отработка корректирующего воздействия путем снижения задания (и соответственно скорости) электропривода 10-й клетки. Далее осуществляется последовательная коррекция скоростей всех предыдущих

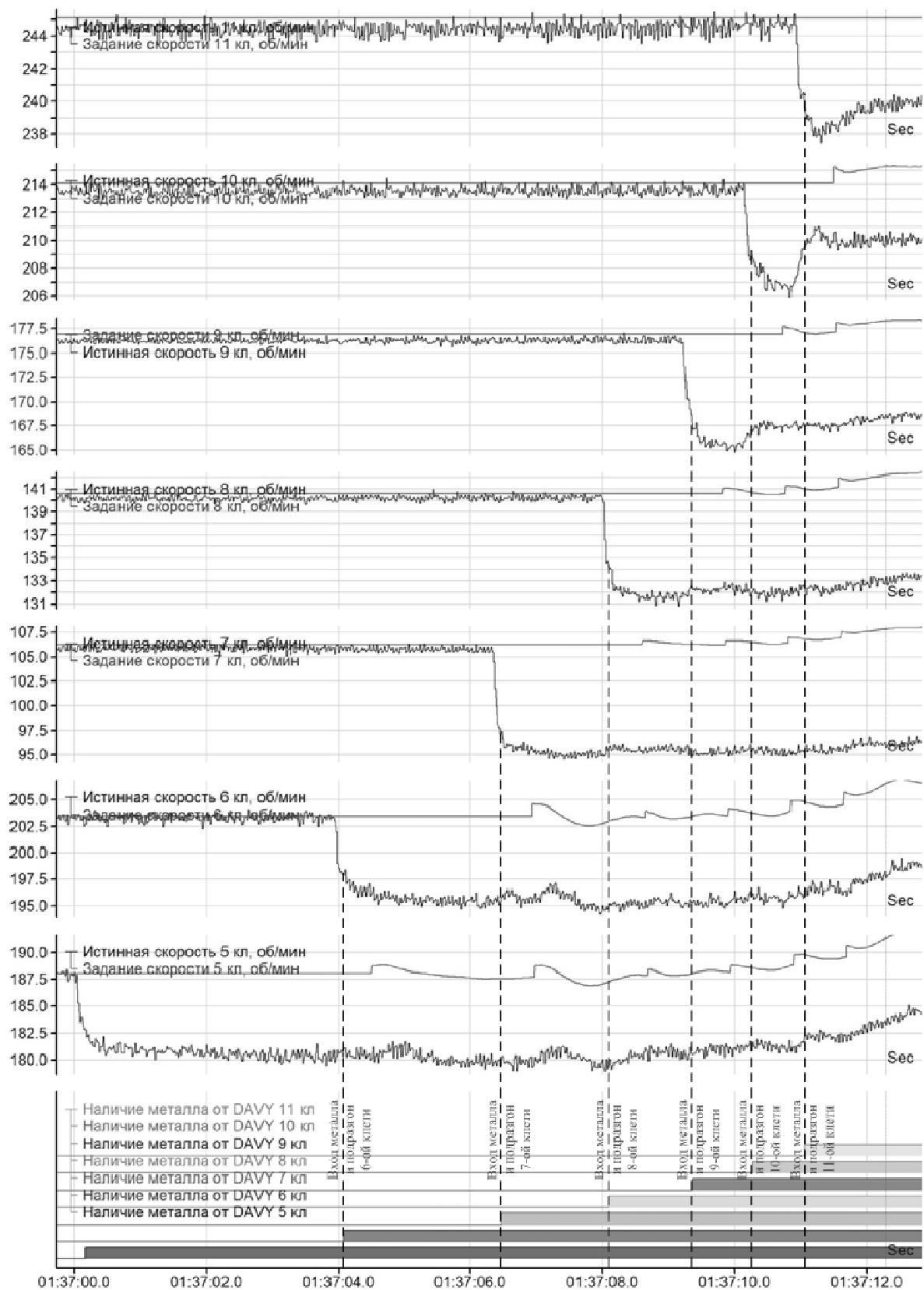


Рис. 4. Скорости прокатных клетей при каскадной коррекции

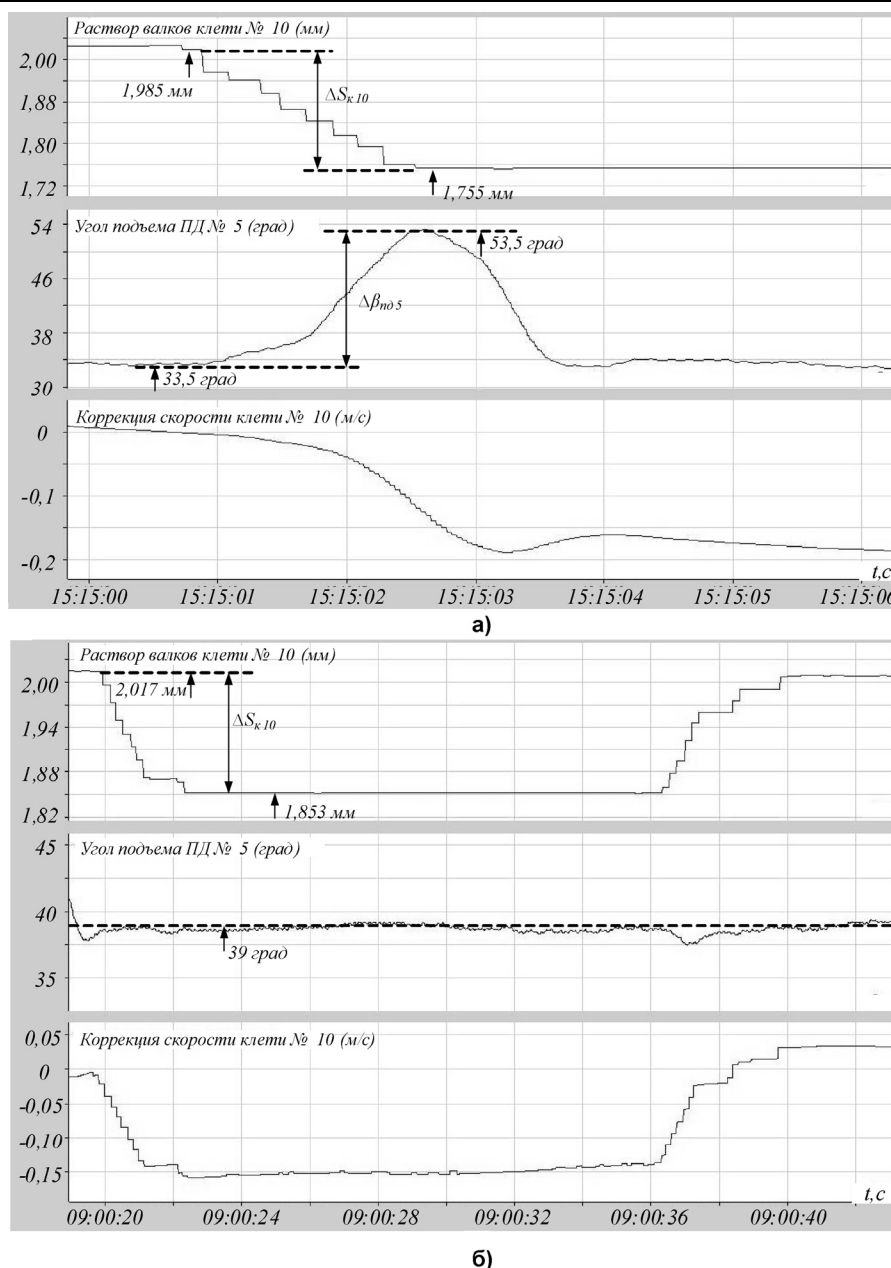


Рис. 5. Осциллограммы размера петли петледержателя № 5 при изменении зазора валков последующей клетки при отключенной (а) и включенной (б) коррекции скорости клетки от САРТ

клетей чистовой группы, что приводит к восстановлению установившегося режима прокатки.

Коррекция скоростей клеток сопровождается изменениями положений петледержателей в предыдущих межклетевых промежутках, которые являются датчиками натяжения в действующей САРНиП косвенного типа. Очевидно, это отрицательно сказывается на точности регулирования натяжения в данном динамическом режиме. В то же время отсутствие каскадной коррекции скоростей клеток непрерывной группы при зафиксированном возмущении, вызванном подъемом петледержателя на 8 град вероятнее всего, привело бы к нарушению технологического процесса и аварийной остановке стана.

Длительная эксплуатация внедренной СУРС подтвердила ее преимущества, заключающиеся в повышении точности поддержания заданного натяжения и толщины прокатываемой полосы. В подтверждение этому на рис. 7 представлены зависимости отклонений толщины при прокатке в обычной системе управления скоростными режимами (кривая «Без коррекции») и при работе внедренной СУРС (кривая «С коррекцией»). Кривые построены путем аппроксимации экспериментальных данных, полученных в ходе пассивного эксперимента при прокатке полос более 50 профилей для каждого из представленных случаев. В результате подтверждено, что отклонения толщины головного участка при прокатке

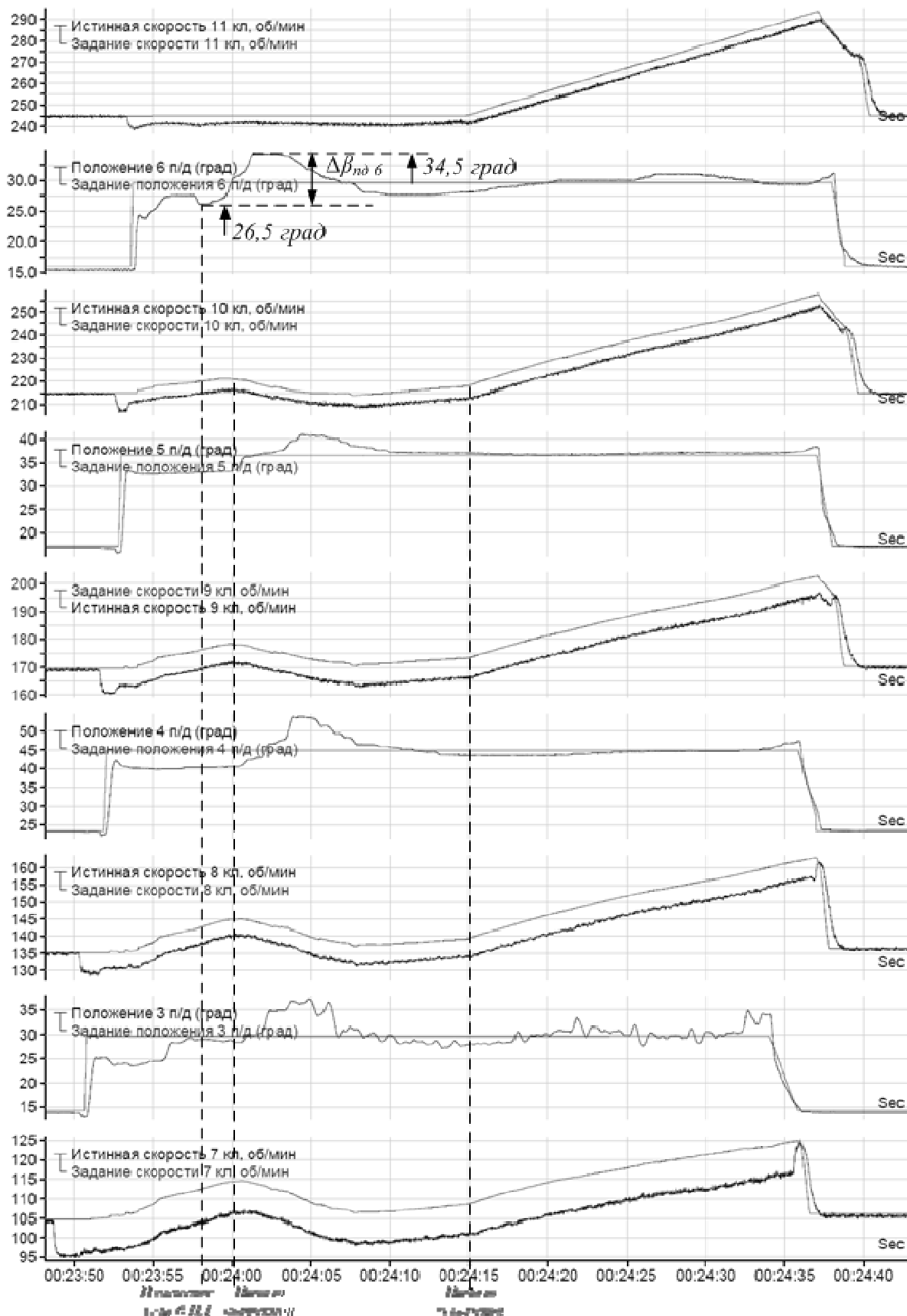


Рис. 6. Осциллограммы переходных процессов в чистой группе при изменении положения 6-го петледержателя

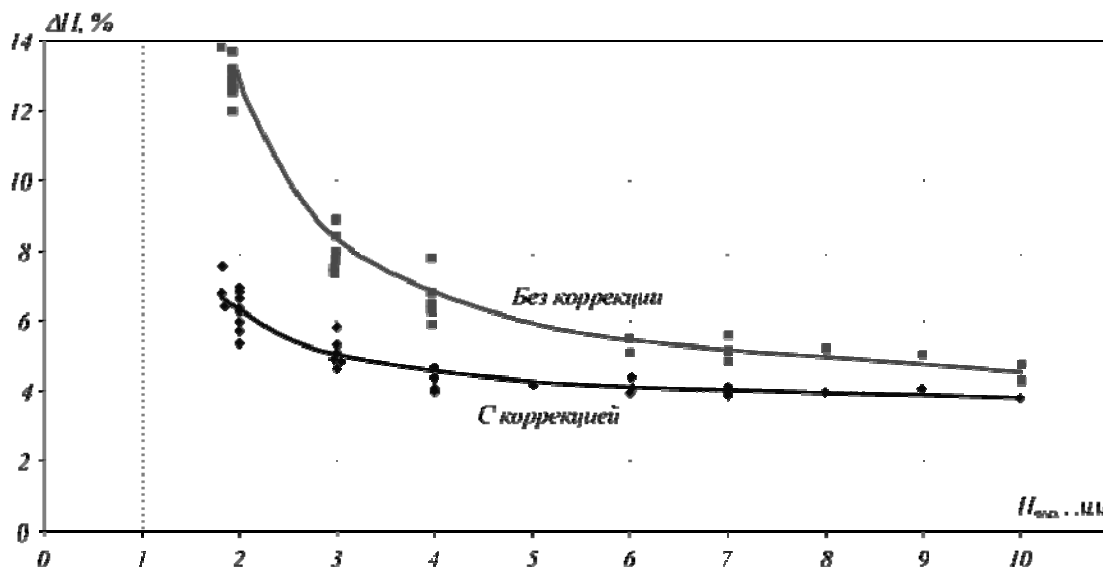


Рис. 7. Экспериментальные кривые отклонения выходной толщины при прокатке переднего конца полосы

полос толщиной до 2 мм за счет внедрения разработанной СУРС снижаются в два раза (с 13,5 % до 6,2 %). При прокатке полос толщиной свыше 6 мм аналогичные отклонения снижаются в 1,3 раза (с 2 % до 1,5 %).

Основные технические эффекты, обеспечиваемые при внедрении усовершенствованной СУРС на стане 2500: снижение расходного коэффициента за счет повышения точности регулирования толщины на концах рулона; повышение точности регулирования межклетевых натяжений за счет реализации принципа коррекции натяжения в предыдущих межклетевых промежутках. Экономический эффект за счет снижения расходного коэффициента составил более 2,8 млн руб./год.

Литература

1. Тонкослябовые литейно-прокатные агрегаты для производства стальных полос / В.М. Салганик, И.Г. Гун, А.С. Карандаев и др. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 506 с.
2. Каскадное управление скоростными режимами широкополосного стана горячей прокатки / П.В. Шляев, А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин и др. // труды V Международной (XVI Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу (АЭП-2007), г. Санкт-Петербург. – СПб., 2007. – С. 417–421.
3. Андрюшин, И.Ю. Совершенствование системы управления скоростными режимами электроприводов непрерывной группы широкополосного стана горячей прокатки: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И.Ю. Андрюшин. – Магнитогорск: МГТУ, 2011. – 20 с.

Поступила в редакцию 24.05.2012 г.

Храмшин Вадим Рифхатович – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Электротехника и электротехнические системы», Магнитогорский государственный технический университет. Тел. 8 (3519) 29-84-16. E-mail: hvr_mgn@mail.ru

Hramshin Vadim Rifkhatovich – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Doctoral Candidate of “Electrical Engineering and Electrotechnical Systems” Department of Magnitogorsk State Technical University. Tel. 8 (3519) 29-84-16. E-mail: hvr_mgn@mail.ru