

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

УДК 62-83-52:621.771.016.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ НАТЯЖЕНИЯ В МЕЖКЛЕТЕВОМ ПРОМЕЖУТКЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

И.Ю. Андрюшин, П.В. Шильяев, В.В. Головин

г. Магнитогорск, ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE SYSTEM OF AUTOMATIC CORRECTION OF TENSION IN STAND GAP OF BROAD-STRIP MILL OF HOT ROLLING

I.Y. Andryushin, P.V. Shilyaev, V.V. Golovin

Magnitogorsk, Open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works»

Представлены результаты экспериментальных исследований точности регулирования натяжения при применении разработанного способа компенсации статических отклонений скорости электропривода клетки. Рассмотрены схемы блока компенсации и переходные процессы для двух вариантов реализации способа: разгон электропривода перед захватом полосы валками и разгон непосредственно в момент захвата. Экспериментально подтверждена техническая эффективность реализации предложенного способа, заключающаяся в повышении точности регулирования натяжения и толщины полосы в динамических режимах.

Ключевые слова: натяжение полосы, способ регулирования, техническая реализация, экспериментальные исследования.

Outcomes of experimental researches of tension regulation accuracy while applying the designed mode of compensation of static deviations of stand electric drive velocity are presented. Circuits of block of compensation and transitions for two alternatives of the mode realization - acceleration of the electric drive before the capture of a strip by rolls and acceleration immediately at the moment of capture are surveyed. Engineering efficiency of the offered mode application is confirmed.

Keywords: tension of a strip, regulation mode, engineering realization, experimental researches.

Основным критерием, определяющим конкурентоспособность продукции широкополосных станов горячей прокатки, является повышение качества за счет минимизации разнотолщинности полосы. Эти параметры определяются условиями прокатки в чистовой группе клеток и в первую очередь точностью регулирования межклетевых натяжений, обеспечиваемой за счет системы автоматического регулирования натяжения и петли. Актуальность проблемы снижения разнотолщинности приобретает особую остроту в связи с переходом на прокатку полосы толщиной 1,2–2 мм, являющейся конечной продукцией прокатного передела. При этом максимальное внимание уделяется точности регулирования натяжения в дина-

мических режимах при захвате и выпуске полосы.

На рис. 1 представлены осциллограммы изменения скорости электроприводов клеток и углов подъема петледержателей чистовой группы стана 2500 горячей прокатки ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»). В главных электроприводах чистовой группы применены пропорциональные регуляторы скорости. Настройка П-регуляторов была проведена таким образом, чтобы обеспечить максимально возможное быстродействие контура скорости при полном отсутствии перерегулирования. Это объясняется тем, что даже небольшая величина перерегулирования осложняет процессы, протекающие при захвате полосы. Как следует из осциллограмм,

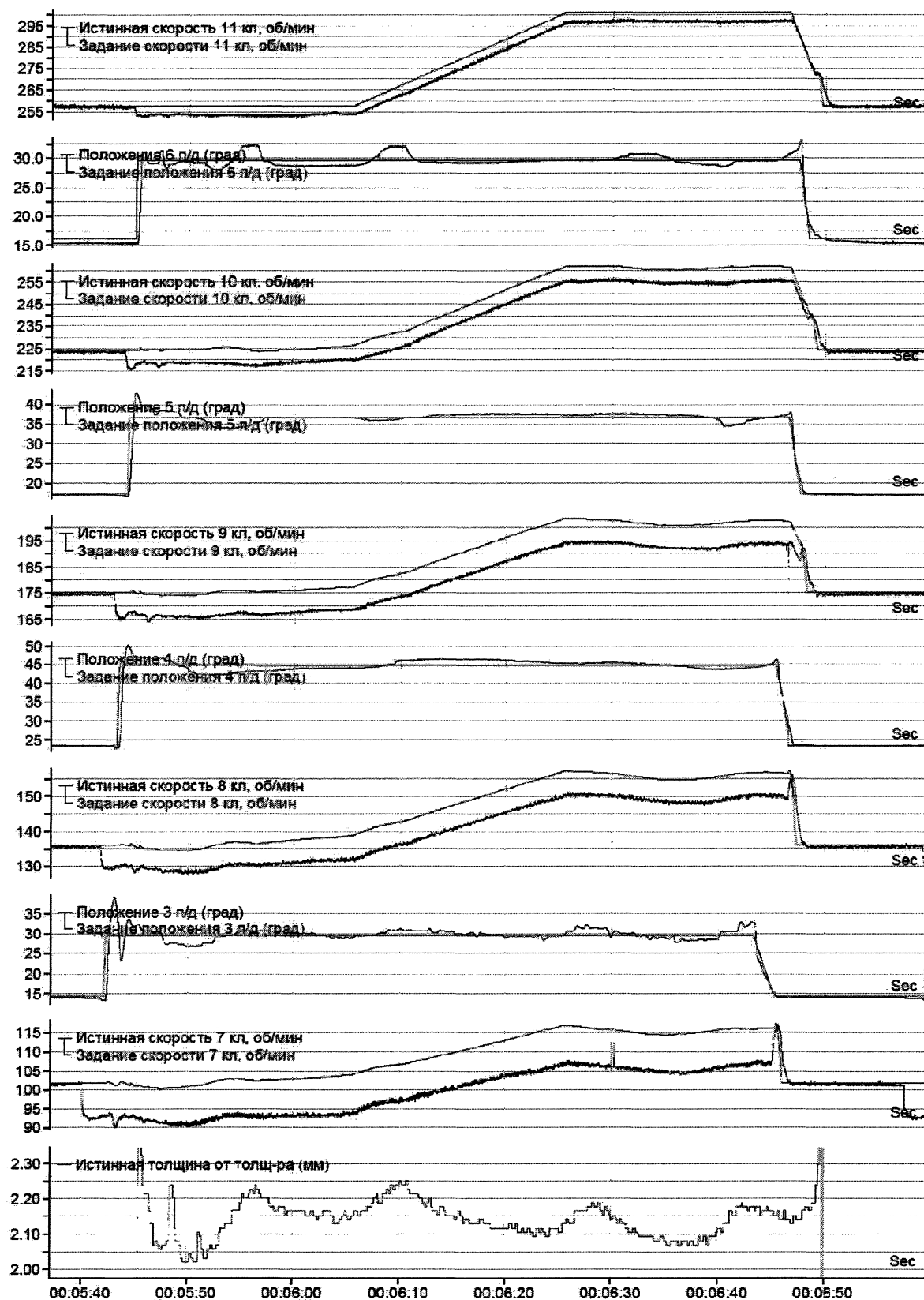


Рис. 1. Осциллограммы переходных процессов скорости клеток чистовой группы и выходной толщины при работе П-регуляторов скорости

динамическое отклонение (просадка) скорости при захвате полосы клетью больше, чем отклонение скорости в установившемся режиме (статическая просадка), что неизменно сказывается на уровне петли в межклетевом промежутке и является возмущением для контура регулирования высоты петли. Регулятор высоты петли выдает корректирующее воздействие на скорости всех предыдущих по отношению к данному промежутку клеток. Таким образом, очевидно, что перерегулирование в скорости при захвате одной из клеток вызывает переходный процесс во всей чистовой группе.

Кроме того, подъем петледержателей после захвата полосы последующей клетью также сопровождается перерегулированием угла подъема, достигающим 5–7 %. Указанные переходные процессы в конечном итоге приводят к отклонению выходной толщины от требуемых размеров, что наглядно показано на последней из представленных осциллограмм. Из рис. 1 видно, что прокатка переднего конца полосы приводит к значительному отклонению толщины головной части (на 30–35 %), которое превышает требуемые значения в несколько раз. Аналогичная разнотолщинность возникает при выпуске полосы. Это приводит к увеличению расходного коэффициента за счет увеличения обреза на концах рулона, составляющей 1,5–2 м.

В связи с необходимостью повышения точности регулирования геометрических размеров осуществляется реконструкция электрического оборудования и систем технологической автоматизации стана 2500. В ходе реконструкции осуществлен переход на цифровые системы управления электроприводами. Система автоматического управления режимами скорости (SPC) предназначена для формирования заданных значений скорости клеток и изменения их по определенному закону в процессе прокатки полосы. Задание скорости из SPC передается в интерфейсную программу управления главным приводом и затем по сети Profibus поступает в тиристорный преобразователь Simoreg [1].

Применение П-регуляторов скорости имеет существенный недостаток при управлении от математической модели. Математическая модель уровня 2 рассчитывает заданные значения скорости клеток для каждой из прокатываемых полос. Предварительно рассчитанные значения скорости поступают в качестве уставок для системы регулирования скорости. В ходе прокатки измеренные значения скорости передаются на уровень 2 и используются моделью для адаптации проведенных ранее предварительных расчетов. В процессе адаптации учету поддаются все составляющие скорости, внесенные в ходе прокатки: ручные коррекции, коррекции от системы регулирования положения петледержателей, ускорение прокатки. Однако статическая просадка скорости, возникающая под нагрузкой, не может быть учтена. При

последующих перерасчетах она вносит значительную погрешность регулирования. В силу особенностей построения программы модели такой параметр, как жесткость механической характеристики, учитывающий величину просадки скорости в зависимости от приложенной нагрузки, не может быть в нее внесен. В результате этого управление от математической модели становится практически невозможным.

Вместе с тем, применение П-регуляторов позволяет получить мягкие механические характеристики электроприводов клеток, делающие работу чистовой группы более устойчивой в случае появления управляющих и возмущающих воздействий.

Перечисленные недостатки вызывают необходимость применения в главных электроприводах клеток стана либо ПИ-регуляторов скорости (имеющих свои существенные недостатки), либо использования иных способов, обеспечивающих снижение статической просадки скорости. Исследования на математической модели показали возможность следующего решения: применения блока компенсации статической просадки в программе управления режимами скорости клетки. Данный блок осуществляет автоматический доразгон электропривода клетки непосредственно перед захватом полосы и содержит разомкнутый и замкнутый контуры компенсации, а также блок логики управления режимами. Функциональная схема, поясняющая предложенный способ, представлена на рис. 2 [2, 3].

На этапе настройки собрана экспериментальная информация о величинах отклонений скорости при различных моментах нагрузки для всех клеток. В результате были вычислены коэффициенты жесткости механических характеристик. В предварительных расчетах уставок математическая модель выдает значение расчетного момента прокатки для главного электропривода. С учетом коэффициента жесткости механической характеристики β вычисляется значение приращения скорости доразгона Δv . При появлении сигнала «Полоса в предыдущей клетке» значение компенсации Δv добавляется к заданной скорости клетки. Происходит доразгон на величину предполагаемой просадки скорости. После захвата полосы клетью ее скорость будет близка к заданному значению.

При определении коэффициентов жесткости механических характеристик по экспериментальным данным для электропривода каждой клетки определена просадка скорости при набросе нагрузки. В большинстве случаев заправка полосы в клеть осуществляется при работе в первой зоне регулирования скорости, т.е. при заправке магнитный поток остается неизменным. С учетом этого, зная ток и магнитный поток двигателя, не сложно определить момент двигателя и жесткость механической характеристики. Осциллограммы переходных процессов скорости и тока двигателя главного электропривода 11-й клетки показаны на

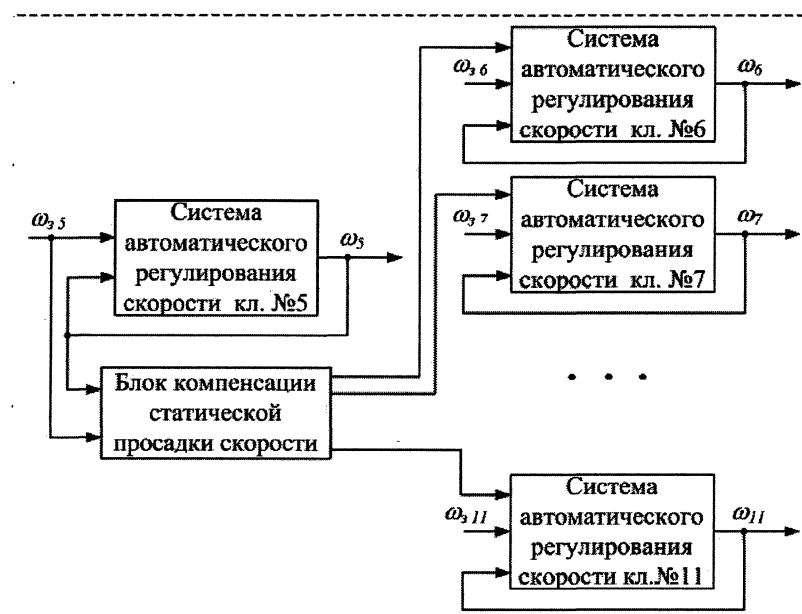


Рис. 2. Функциональная схема системы регулирования скорости клетей с доразгоном в режиме заправки

рис. 3. Как видно из рисунка, просадка скорости составляет 4 об/мин при изменении тока на 3165 А. Аналогичные замеры были проведены для большого количества полос различного сортамента, что позволило вычислить жесткость механических характеристик с высокой точностью.

Разомкнутый контур компенсирует просадку скорости на уровне 2 – 3 % разницы между заданным и истинным значениями. Кроме того, не учитывается влияние на нагрузку клетки дополнительных факторов: свойств полосы, изменения межвалкового зазора и т.д. Такая точность компенсации не является удовлетворительной, поэтому необходим замкнутый контур, отслеживающий реальные изменения скорости при изменении нагрузки.

При построении замкнутого контура необходимо учитывать, что регулятор не должен быть настроен с таким быстродействием, чтобы оказывать влияние на динамические режимы, так как это может привести к снижению устойчивости работы стана. Поэтому замкнутые контуры электроприводов клетей построены на основе И-регуляторов скорости с большой постоянной времени. Целью является получение максимально возможного быстродействия при полном отсутствии перерегулирования по скорости. Такая схема регулятора позволяет с достаточной степенью точности компенсировать просадку скорости клетки в установившемся режиме. Схема узла компенсации статической просадки скорости электропривода клетки представлена на рис. 4.

Определяющим с точки зрения быстродействия, а также наиболее неблагоприятным с точки зрения петлеобразования динамическим режимом

клетей является наброс нагрузки при входе металла в валки. И-регулятор имеет сравнительно низкое быстродействие и не влияет на процесс регулирования высоты петли в межклетевом промежутке. Остальные динамические процессы, возникающие в ходе прокатки (ускорение, коррекции скорости), протекают с более низким темпом и поэтому обработка их И-регулятором не представляет опасности с точки зрения устойчивости процесса прокатки.

На рис. 5 приведены осциллограммы скоростей электроприводов клетей при прокатке с подключенным узлом компенсации (с предварительным доразгоном электроприводов клетей). Выход на заданную скорость, вычисленную с учетом жесткости механической характеристики, осуществляется в период нахождения начала полосы в межклетевом промежутке до захвата валками последующей клетки (например, для клетки № 7 доразгон осуществляется от 90 до 100 об/мин, его начало соответствует моменту времени 01:51:35). Как следует из представленных осциллограмм, при точном расчете требуемой скорости захвата статические ошибки скоростей в режиме прокатки практически отсутствуют. Это приводит как к более точному поддержанию натяжения в режиме прокатки, так и к меньшему его перерегулированию в момент захвата полосы (5–10 % установившегося значения). Соответственно снижается динамическое отклонение толщины (до 18 % на выходе из чистовой группы).

Вместе с тем очевидно, что величина разности между заданной и истинной скоростями зависит от точности расчета момента прокатки, точности вычисления коэффициента жесткости механической характеристики β и соответственно точности

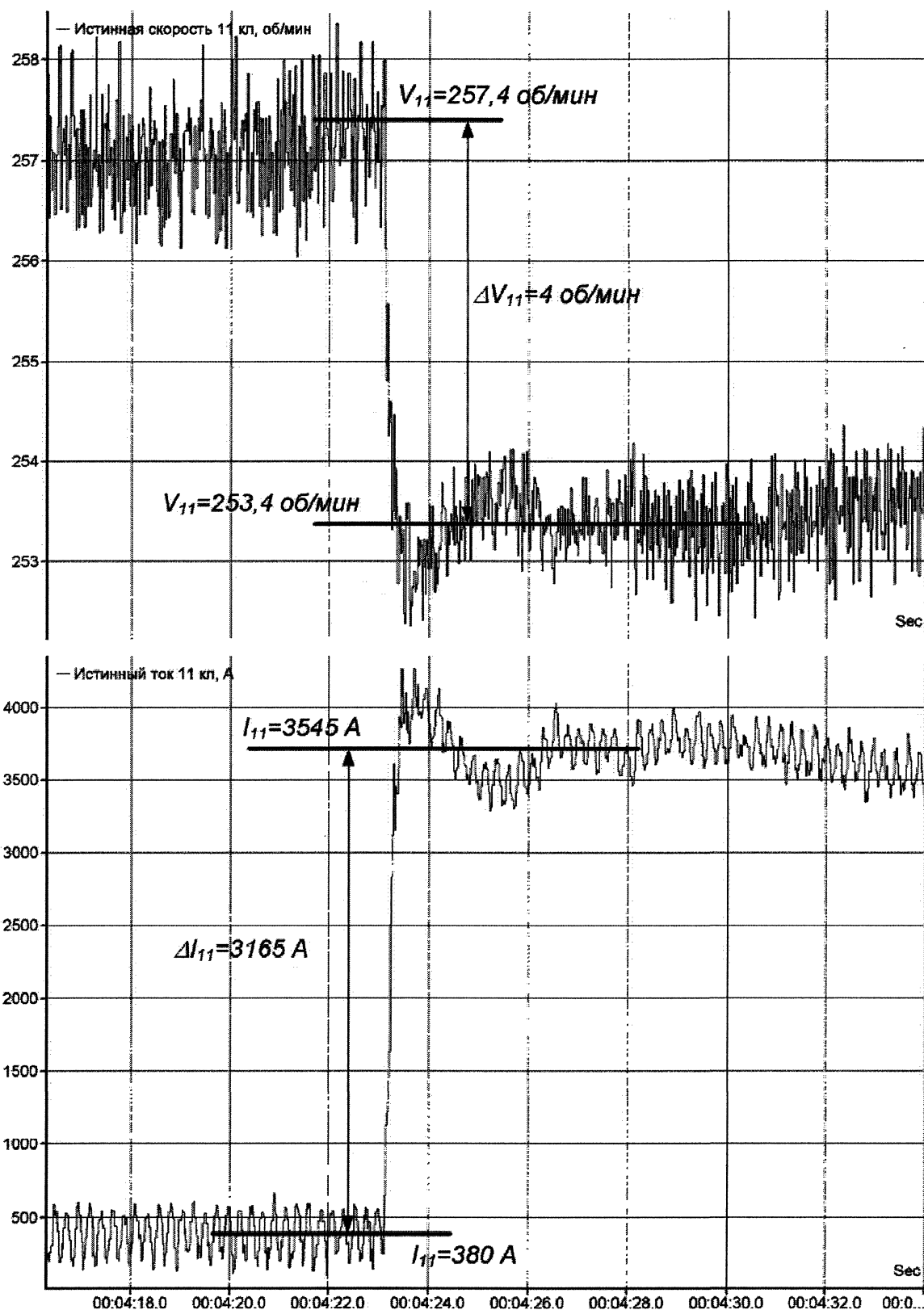


Рис. 3. Осциллограммы переходных процессов при входе металла в 11-ю клеть

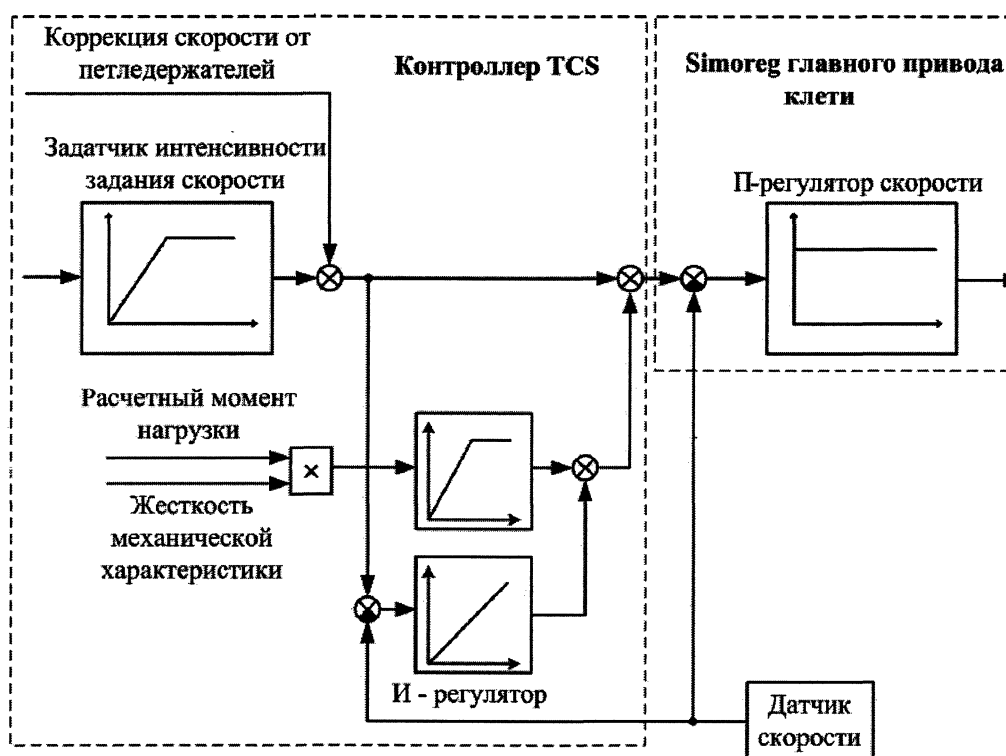


Рис. 4. Схема узла компенсации статической просадки скорости

вычисления сигнала Δl на дополнительный разгон электропривода клетки. Эти значения рассчитываются в модели по предварительно заданным параметрам (обжатия, скорости и др.). Добиться точного определения всех параметров удастся не во всех случаях, что не позволяет использовать преимущества предложенного способа в полной мере.

Для устранения отмеченного недостатка предложено осуществлять доразгон электропривода последующей клетки непосредственно в момент захвата полосы валками. В этом случае обеспечивается более точное вычисление момента двигателя по параметрам электропривода (току, магнитному потоку), которые непрерывно контролируются в процессе прокатки. Соответственно увеличивается точность вычисления требуемой скорости захвата, что обеспечивает более точную компенсацию просадки скорости клетки.

В подтверждение сказанному на рис. 6 представлены осциллограммы перечисленных выше параметров в режиме доразгона в момент захвата полосы валками. Видно, что быстроедействие электропривода по каналу задания достаточно, чтобы отработать режим захвата практически без динамических отклонений скорости. В результате повышается точность регулирования натяжения в режиме захвата и соответственно снижается перерегулирование толщины (до 13 % на выходе из чистовой группы).

Предложенный способ регулирования и схема построения узла компенсации отклонений скоро-

сти на основе сочетания двух контуров: замкнутого и разомкнутого в настоящее время используются в чистовой группе стана 2500. Многочисленные эксперименты показали, что таким образом можно наиболее эффективно снижать просадку скорости с наименьшим влиянием на устойчивость стана. При этом снижается разнотолщинность на концах полосы и соответственно снижается расходный коэффициент за счет уменьшения потерь металла с концевой обрезью.

Выводы

1. В результате анализа режимов захвата полосы валками клеток чистовой группы стана 2500 ОАО «ММК» показаны высокие динамические отклонения натяжения за счет рассогласования скоростей смежных клеток межклетевого промежутка, связанных с применением пропорциональных регуляторов скорости главных электроприводов. Это приводит к увеличению разнотолщинности на концах рулона и делает практически невозможным управление от математической модели АСУ ТП 2-го уровня.

2. Предложен способ регулирования скорости с предварительным вычислением скорости захвата и соответствующим доразгоном электропривода последующей клетки во время нахождения полосы в межклетевом промежутке, обеспечивающий отсутствие статической ошибки скорости во время прокатки.

3. Предложена схема построения узла компенсации статической просадки скорости на основе

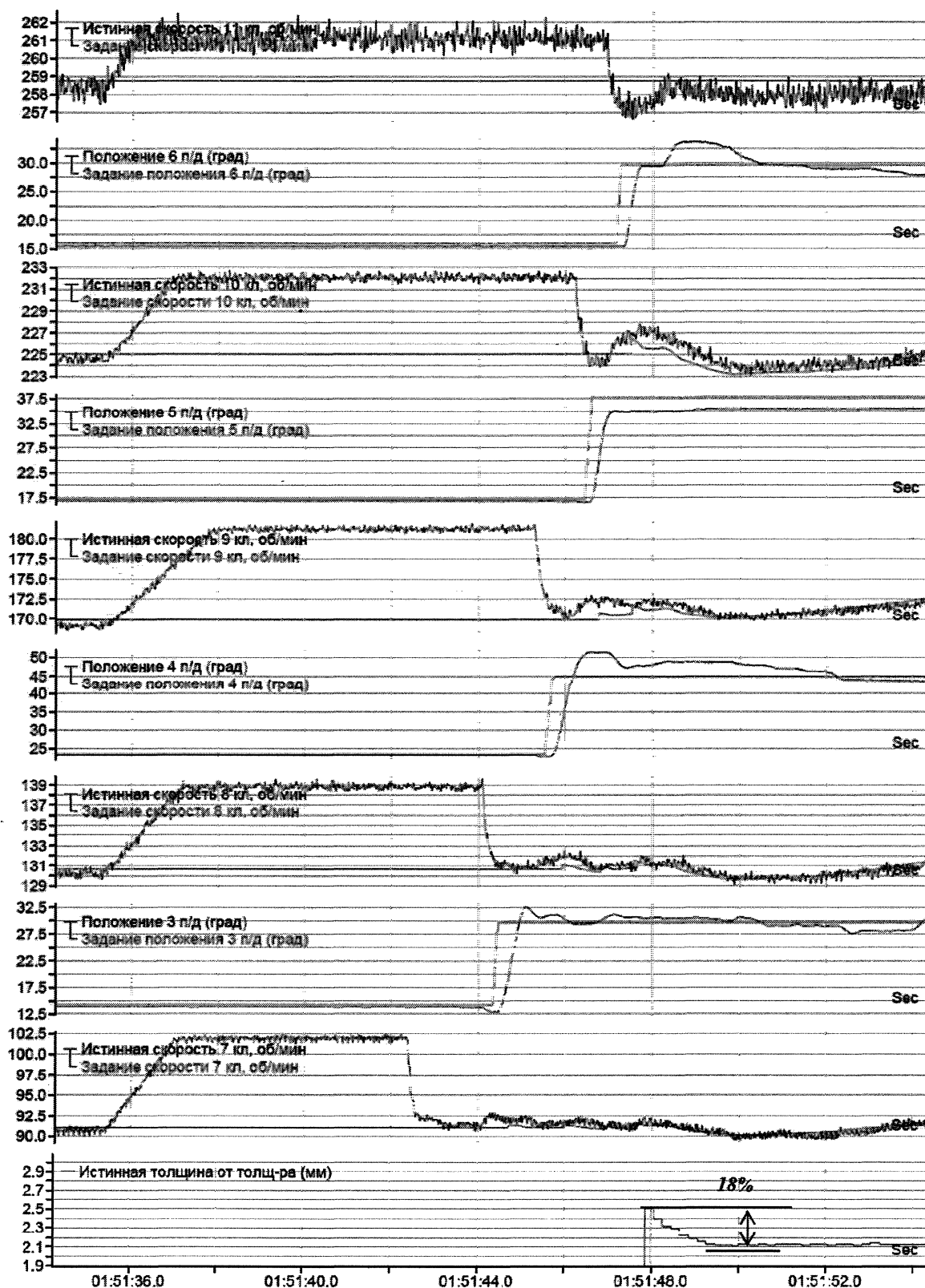


Рис. 5. Осциллограммы скоростей клеток и углов подъема петледержателей
в системе с предварительным доразгоном

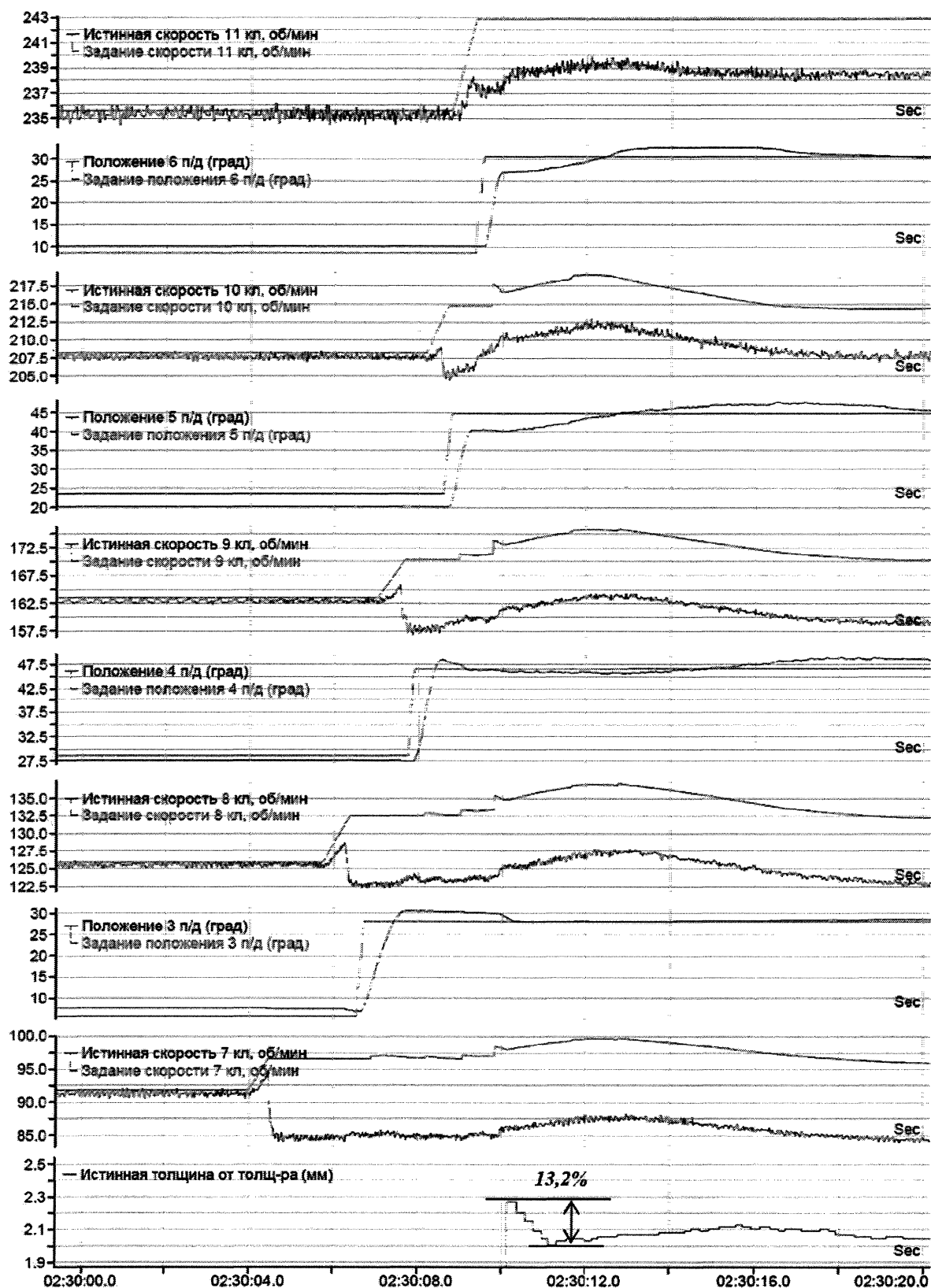


Рис 6. Осциллограммы регулирования скорости клеток с доразгоном в момент заправки

сочетания двух контуров: замкнутого и разомкнутого. При этом замкнутый контур обеспечивает снижение величины просадки скорости. Основная функция разомкнутого контура – уменьшение влияния замкнутого контура на процесс образования петли при захвате металла клетью.

4. Экспериментальные исследования подтвердили целесообразность применения предложенного способа, однако его эффективность зависит от точности предварительного вычисления требуемого приращения скорости.

5. Предложен вариант реализации способа с доразгоном электропривода последующей клетки непосредственно в момент захвата полосы валками. Это обеспечивает более точное вычисление момента двигателя и требуемой скорости захвата по параметрам электропривода. В результате увеличивается точность регулирования натяжения в межклетевом промежутке и соответственно снижается разнотолщинность полосы на концах рулона.

Литература

1. Формирование алгоритмов управления режимами электроприводов в АСУ ТП широкополосного стана горячей прокатки / П.В. Шильяев, И.Ю. Андрюшин, В.В. Головин и др. // *Электроэнергетические преобразователи энергии: материалы Международной науч.-техн. конф.* – Томск: ТПУ, 2007. – С. 313–318.
2. Каскадное управление скоростными режимами широкополосного стана горячей прокатки / П.В. Шильяев, И.Ю. Андрюшин, В.В. Головин и др. // *Труды V Международной (XVI Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу (АЭП-2007).* – Санкт-Петербург, 2007. – С. 417–421.
3. Технологические схемы управления электроприводами чистовой группы широкополосного стана горячей прокатки / А.С. Карандаев, В.Р. Храмын, И.Ю. Андрюшин и др. // *Труды VII конгресса прокатчиков.* – М., 2007. – Т. 1. – С. 71–75.

Поступила в редакцию 15.02.2008 г.

Андрюшин Игорь Юрьевич – главный инженер управления главного энергетика – главный электрик ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Область научных интересов: автоматизированный электропривод, системы управления. Контактный телефон: 8-(3519) 29-09-12.

Andryushin Igor Yurievich – the chief engineer of principal power engineer department, the principal electrician of Open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works». Scientific interests: automatic electric drive, control systems. Contact phone: 8-(3519) 29-09-12.

Шильяев Павел Владимирович – ОАО «ММК», начальник управления технического обслуживания и ремонтов электротехнического оборудования ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Область научных интересов: автоматизированный электропривод, силовая электроника, системы управления. Контактный телефон: 8-3519-01-89-38.

Shilyaev Pavel Vladimirovich – Open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works», the chief of department of maintenance service and reconditioning of the electrotechnical equipment of Open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works». Scientific interests: automatic electric drive, power electronics, control systems. Contact phone: 8-(3519) 01-89-38.

Головин Вячеслав Васильевич – кандидат технических наук, начальник центральной электротехнической лаборатории ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Область научных интересов: автоматизированный электропривод, системы управления. Контактный телефон: 8-(3519) 29-09-12.

Golovin Vyacheslav Vasilievich – candidate of technical science, the chief of the central electrotechnical laboratory of Open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works». Scientific interests: automatic electric drive, control systems. Contact phone: 8-(3519) 29-09-12.