

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА СОГЛАСОВАНИЯ СКОРОСТЕЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ КЛЕТЕЙ ЧЕРНОВОЙ ГРУППЫ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

*А.С. Карандаев, В.Р. Храмшин, В.В. Галкин\*, А.Н. Гостев\**

*г. Магнитогорск, Магнитогорский государственный технический университет, \*ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»*

## THE DIAGNOSTICS OF SINGLE-PHASE CAPACITOR INDUCTION MOTORS BY THE LEVEL OF EXTERNAL MAGNETIC FIELD, WITH ALLOWANCE FOR TECHNOLOGICAL AND OPERATIONAL FACTORS

*A.S. Karandaev, V.R. Hramshin, V.V. Galkin\*, A.N. Gostev\**

*Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University, \*Joint-stock company "Magnitogorsk Iron and Steel Works"*

Представлены результаты анализа скоростных режимов электроприводов клетей и натяжений в межклетевых промежутках непрерывной подгруппы черновой группы стана 2000 ОАО «ММК». Показано, что в существующей системе согласования скоростей не обеспечивается режим прокатки с натяжением, близким к нулевому. Предложен алгоритм согласования скоростей в процессе прокатки, применение которого обеспечивает повышение точности поддержания заданного натяжения.

*Ключевые слова:* стан горячей прокатки, черновая группа, электроприводы, скоростные режимы, натяжение, регулирование, точность, алгоритм, исследование, осциллограммы.

The results of analysis of high-speed rates of birdcages of electric drives and tensioning between interstand spaces of continuous subgroup of roughing mill group of mill 2000 of Joint Stock Company "MISW" are presented. It is shown that in the existing system of speed coordination the rolling schedule with the tensioning close to the zero is not ensured. The algorithm of the coordination of speeds in the course of rolling application of which ensures the raise of accuracy of maintenance of the set tensioning is proposed.

*Keywords:* hot-rolling mill, roughing mill group, electric drives, high-speed rates, tensioning, regulation, accuracy, algorithm, investigation, oscillograms.

Основной технологической задачей при прокатке полосы в непрерывной подгруппе черновой группы клетей, наряду с обеспечением требуемых обжатий, является формирование заданной ширины по длине раската. Для исключения уширения полосы (уменьшения ширины по длине) необходимо поддержание заданного натяжения в межклетевых промежутках, близкого к нулевому [1]. Вместе с тем, потеря натяжения является недопустимым режимом. Неправильное соотношение скоростей приводных двигателей приводит к тому, что прокатываемый металл подвергается неконтролируемым деформациям, а технологический процесс нестабилен и находится под угрозой аварии, например, «забуривания» (заклинивания) полосы при захвате) или поломки оборудования.

На рис. 1 показан фрагмент технологической линии стана 2000 ОАО «ММК»: черновая группа клетей, состоящая из трех клетей (№ 1–3), в которых происходит независимая прокатка, и трех клетей (№ 4–6), взаимосвязанных в процессе прокатки через полосу, объединенных в непрерывную подгруппу.

Существующая система поддержания «нулевого тока», действующая в 4–6-й клетях, не соответствует современным требованиям и малоэффективна в условиях расширения сортамента прокатываемых полос. В результате прокатка ведется с натяжениями, в несколько раз превышающими требуемые минимальные значения. В подтверждение сказанному на рис. 2 представлены осциллограммы скоростей и моментов двигателей 4-й, 5-й клетей

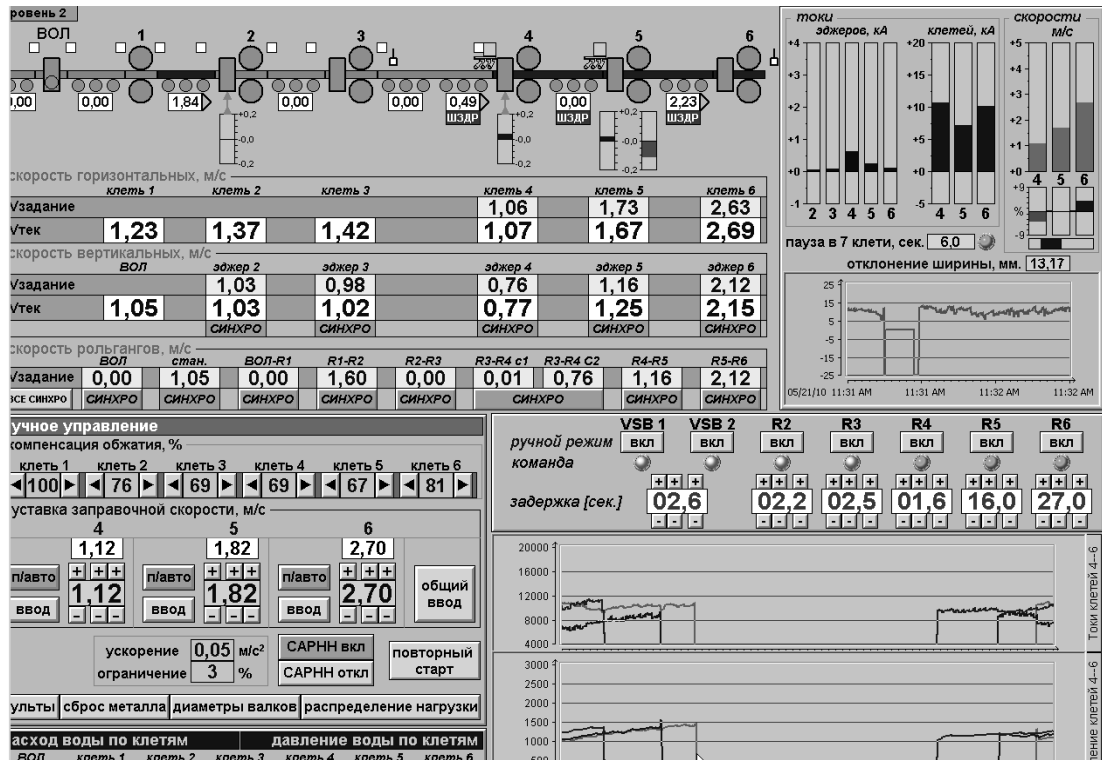


Рис. 1. Экранная форма сигналов АСУ черновой группы стана 2000

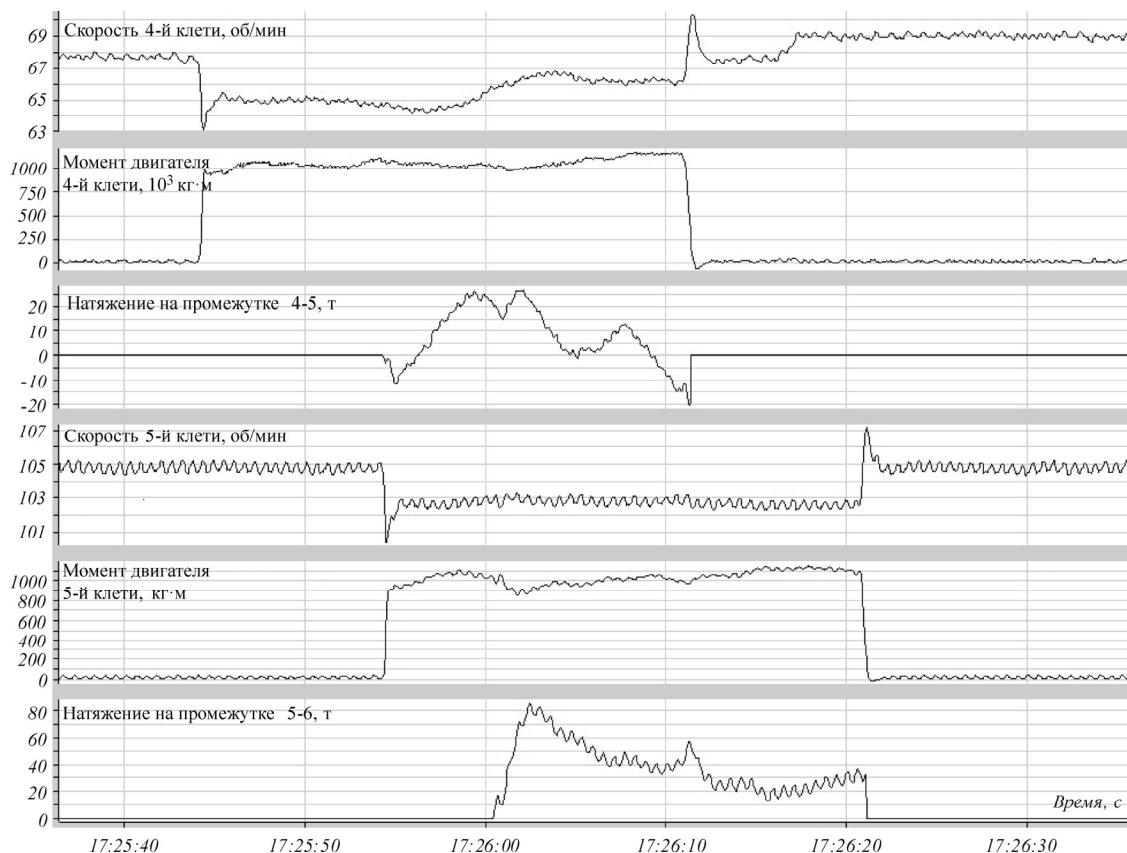


Рис. 2. Изменения скоростей, моментов и натяжений при прокатке в смежных клетях черновой группы

стана, а также натяжений в межклетевых промежутках.

Как следует из осциллограмм, диапазон изменений натяжения в промежутке между 4-й и 5-й клетями (первый межклетевой промежуток) составляет  $-20$  кН ...  $+25$  кН, в то время как должен быть обеспечен режим прокатки с натяжением, близким к нулевому. Отклонение натяжения в промежутке между 5-й и 6-й клетями (второй межклетевой промежуток) превышает 80 кН, что не может быть признано приемлемым. Изменение натяжения во втором промежутке после захвата полосы валками 6-й клетки (момент времени 17:26) оказывает существенное влияние на натяжение в предыдущем промежутке, т. е. возмущающее воздействие передается «через клетку», что свидетельствует о несовершенстве существующих алгоритмов управления.

В связи с повышением требований к точности регулирования технологических параметров выявлены следующие недостатки, влияющие на точность регулирования размеров готового проката:

- наличие неконтролируемых продольных усилий в раскате между смежными клетями;
- низкое быстродействие системы коррекции скоростного режима, в результате чего применяется ручная коррекция скоростей по клетям;
- недостаточная точность системы косвенного вычисления натяжения по параметрам электропривода;
- низкая точность алгоритмов задания скоростного режима от АСУ верхнего уровня.

Согласно действующему алгоритму настройки скоростных режимов прокатки в 4–6-й клетях для построения системы минимального натяжения осуществляется регулирование токов приводных двигателей по сигналам, сформированным на основании параметров процесса прокатки, показанным на рис. 1. Затем осуществляется запоминание относительных значений статического тока нагрузки 4-й клетки с момента входа в нее раската до момента его входа в 5-ю клетку. Далее запомненные значения тока нагрузки 4-й клетки используются для последовательной коррекции скорости приводов последующих клеток синхронно с прохождением металла.

Статический момент нагрузки 4-й клетки в момент входа заготовки в 5-ю клетку часто не соответствует минимальным продольным усилиям в промежутке между предыдущей и последующей клетями, так как может запомниться наибольший момент на охлажденном участке заготовки из-за неравномерного температурного профиля. Момент, запомненный непосредственно перед входом заготовки в последующую клетку, может вызвать регулирующий сигнал, увеличивающий скорость предыдущей клетки. В результате может возникнуть подпор раската, создающий аварийную ситуацию, поломку или «забуривание» полосы. Кроме того, нельзя не учитывать влияние на продольные тяговые усилия в промежутке между 4-й и 5-й

клетями последующей (6-й) клетки, что подтверждено осциллограммами (рис. 2).

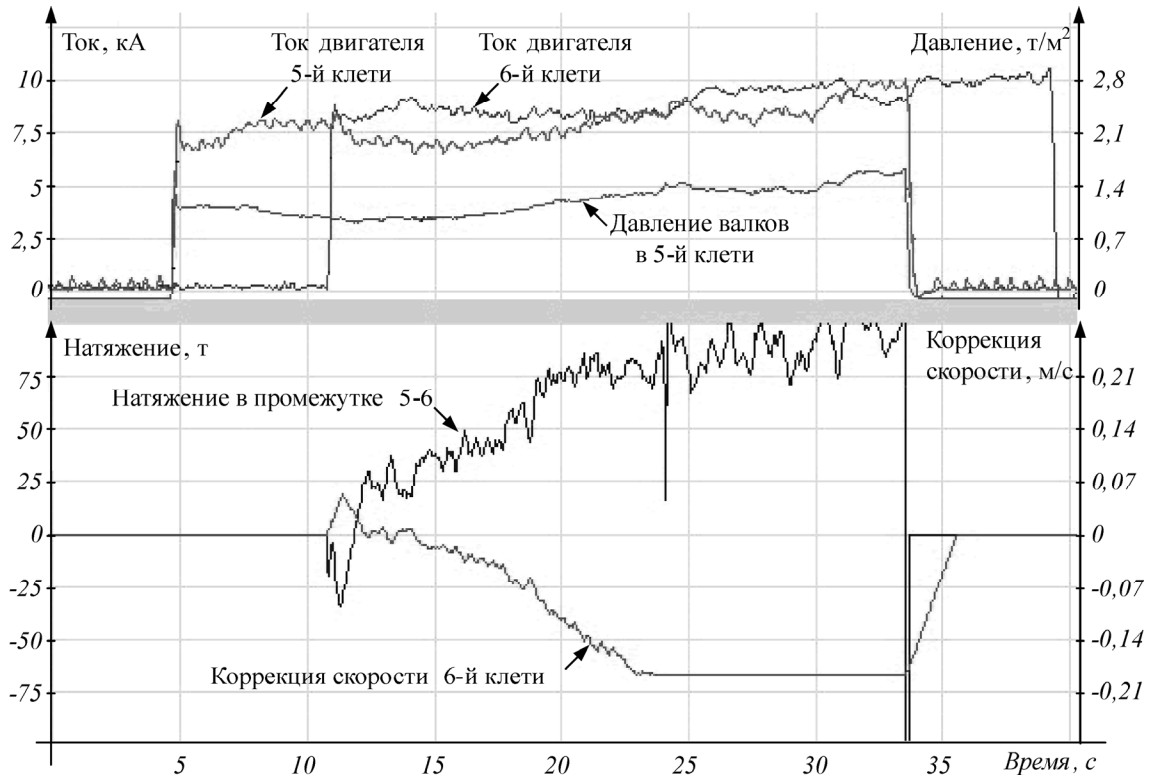
Коррекция скорости 6-й клетки, осуществляемая в существующей системе после захвата металла валками, не обеспечивает требуемого восстановления натяжения за минимальное время (рис. 3). Как видно из осциллограмм, при подаче сигнала на снижение скорости 6-й клетки после захвата металла натяжение в предыдущем межклетевом промежутке может как увеличиваться (рис. 3, а), так и уменьшаться (рис. 3, б). Это свидетельствует о существенном влиянии возмущающих воздействий, поступающих от предыдущих клеток группы.

Поставлена задача обеспечить задание согласованного скоростного режима всех клеток подгруппы для получения высокой точности размеров по длине раската. Для ее решения предложено замер параметров процесса прокатки и регулирование моментов приводных двигателей клеток осуществлять последовательно по клетям [2]. Регулирование осуществляется согласно алгоритму, представленному на рис. 4.

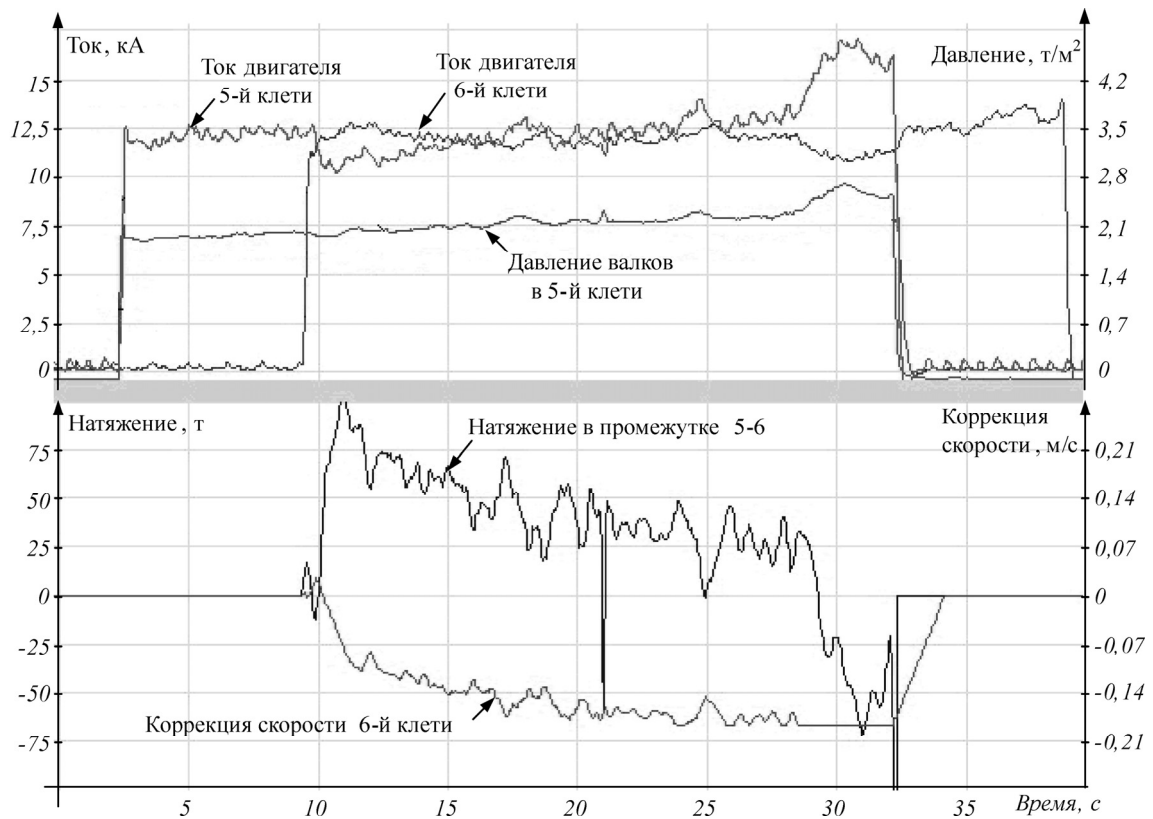
После входа раската в 4-ю клетку и до момента входа в 5-ю клетку запоминаются значения момента статической нагрузки и скорость приводных двигателей 4-й клетки. После входа раската в 5-ю клетку и до момента входа в 6-ю клетку формируется сигнал коррекции скорости двигателей 4-й клетки, если соотношение скоростей отличается от заданного значения. После входа раската в 6-ю клетку вычисляется отношение момента запомненной статической нагрузки приводных двигателей 4-й клетки и текущего момента приводных двигателей 6-й клетки, на основании чего формируется управляющий сигнал на непрерывное регулирование скоростного режима двигателей 4-й клетки. После выхода раската из 4-й клетки прекращается непрерывное регулирование скоростного режима приводных двигателей 4-й и 5-й клеток и сформированные управляющие сигналы запоминаются. За счет этого поддерживается установившееся соотношение скоростей 4-й и 5-й клеток, позволяющее минимизировать их коррекцию при поступлении следующего раската.

Таким образом, в предложенном алгоритме используются сигналы, пропорциональные моментам свободной прокатки каждой предыдущей клетки. Для поддержания согласованного режима регулирование ведется по трем клетям. За счет этого исключается влияние последующих клеток на изменение натяжения в предыдущем промежутке. Кроме того, после выхода конца раската из каждой предыдущей клетки остается активно работающее пропорциональное регулирование, поддерживающее согласованный режим на протяжении выхода конца раската из всей непрерывной группы.

Для осуществления предложенного алгоритма не требуется дополнительной коррекции из-за изменения температурного профиля, а также задания предварительной информации о марке прокатываемого металла. В каждом промежутке непрерывной



а)



б)

Рис. 3. Осциллограммы натяжений в межклетевых промежутках при существующей системе регулирования скоростей

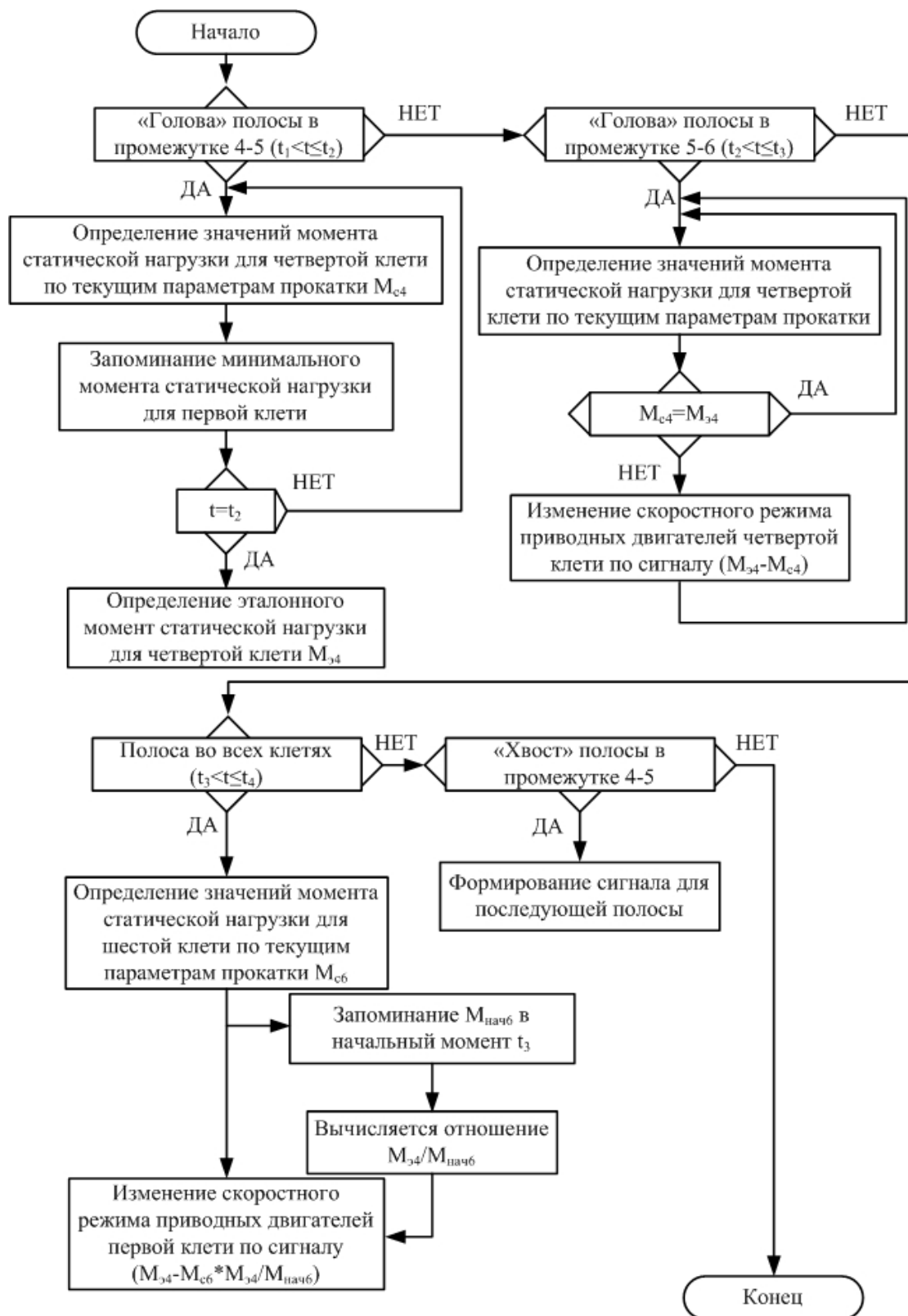


Рис. 4. Алгоритм управления скоростными режимами черновой группой прокатного стана:  
 $t_1-t_3$  – моменты входа полосы в 4–6-ю клетки соответственно;  $t_4$  – момент выхода полосы из 4-й клетки;  
 $M_{с4}, M_{с6}$  – моменты статической нагрузки 4-й и 6-й клеток;  $M_{34}$  – эталонный момент статической нагрузки 4-й клетки;  
 $M_{нач6}$  – момент статической нагрузки 6-й клетки в момент  $t_3$

подгруппы осуществляются независимое регулирование и самоконтроль параметров с коррекцией на следующей заготовке. Так как это требует постоянного обновления информации о моментах статической нагрузки клетей, временная ошибка в результатах регулирования скоростных режимов минимизируется. Регулирование осуществляется по показателю минимального натяжения в раскате с учетом неравномерности продольного прогрева заготовки.

Испытания алгоритма проведены на стане 2000. Благодаря его реализации обеспечивается регулирование скоростей взаимосвязанных 4–6-й клетей с погрешностью, не превышающей 3,5–4,5 % (рис. 5). Как следует из сопоставления осциллограмм, представленных на рис. 2 и рис. 5, благодаря коррекции скоростей предыдущих клетей диапазон отклонений натяжения в первом межклетевом промежутке снизился в 2 раза ( $\pm 20$  кН на рис. 1 и  $-5 \dots +10$  кН на рис. 5). Для второго межклетевого промежутка зафиксировано снижение отклонений натяжения более чем в 2,5 раза, от 80 кН до 30 кН. В настоящее время ведется работа по совершенствованию представленного алгоритма, что позволит увеличить быстродействие системы и повысить точность регулирования натяжения.

Внедрение предложенного алгоритма на стане 2000 ОАО «ММК» обеспечит:

- расширение функциональных возможностей управления скоростными режимами по критерию минимальных натяжений;

- минимизацию дополнительной модельной коррекции, связанной с изменениями температурного профиля, а также исключение задания предварительной информации о марке прокатываемого металла;

- независимое регулирование натяжения в межклетевых промежутках и самоконтроль качества регулирования с коррекцией на следующей заготовке.

Основные технические эффекты:

- снижение расходного коэффициента за счет повышения точности регулирования ширины на концах рулона;

- улучшение условий захвата полосы валками, снижение аварий, связанных с застреванием полосы;

- повышение точности регулирования межклетевых натяжений в непрерывной подгруппе черновой группы;

- повышение устойчивости технологического процесса за счет реализации усовершенствованных алгоритмов управления скоростным режимом клетей.

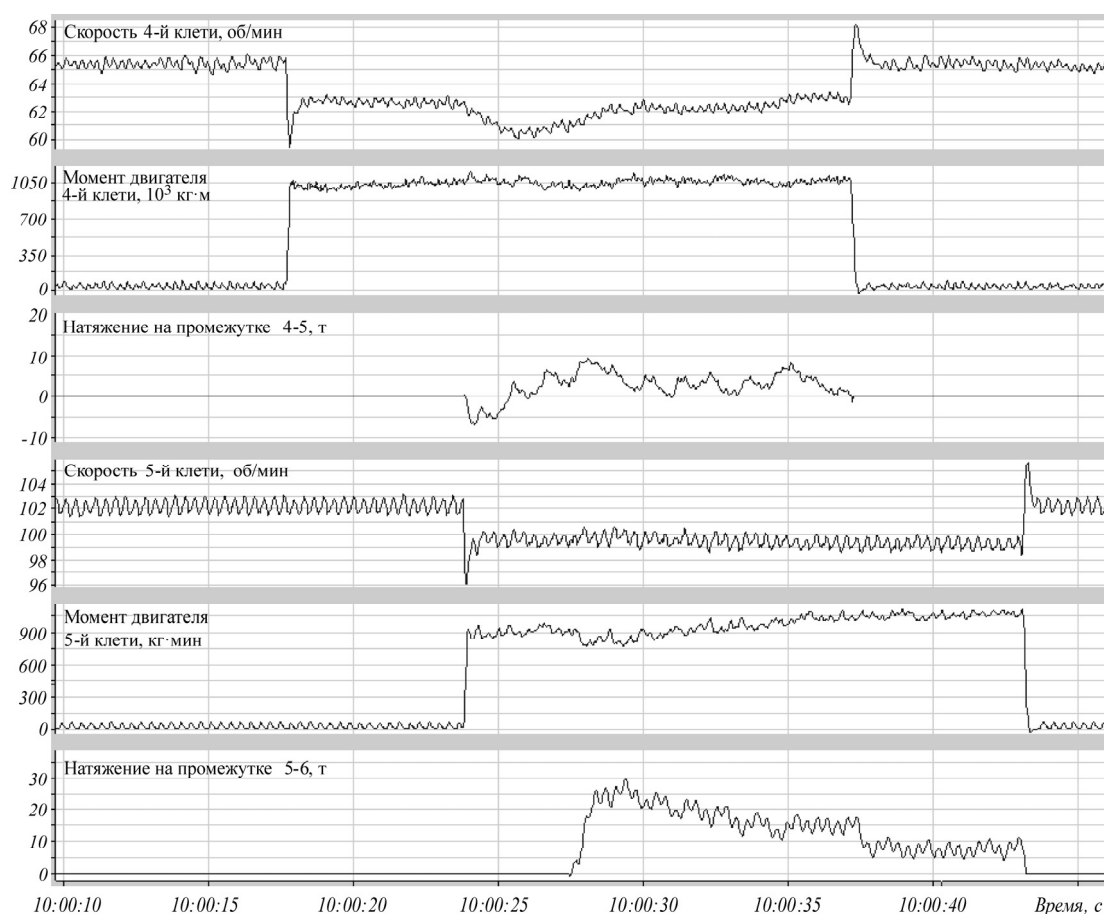


Рис. 5. Осциллограммы при управлении по предложенному алгоритму (аналогичные рис. 2)

**Литература**

1. Выдрин, В.Н. Автоматизация прокатного производства / В.Н. Выдрин, А.С. Федосиенко. – М.: Металлургия, 1984. – 472 с.
2. Пат. США DE4325074C2, B21B 37/52.

*Verfahren zur Regelung der Walzgeschwindigkeit in einer mehrgerüstigen kontinuierlichen Warmwalzstraße zur Gewährleistung minimaler Längszugkräfte / Junger, Igor B. Veröffentlichungstag im Patentblatt 29.06.1995.*

*Поступила в редакцию 21.06.2011 г.*

**Карандаев Александр Сергеевич** – докт. техн. наук, профессор, главный научный сотрудник научно-технического сектора, Магнитогорский государственный технический университет, г. Магнитогорск. Контактный телефон: 8 (3519) 29-84-34, e-mail: askaran@mail.ru.

**Karandaev Alexander Sergeevich** – Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Chief Research Scientist of technological sector of Magnitogorsk State Technical University. Tel.: 8 (3519) 29-84-34, e-mail: askaran@mail.ru.

**Храмшин Вадим Рифхатович** – канд. техн. наук, доцент кафедры электротехники и электротехнических систем, Магнитогорский государственный технический университет, г. Магнитогорск. Контактный телефон: 8 (3519) 29-84-16, e-mail: hvr\_mgn@mail.

**Hramshin Vadim Rifhatovich** – Cand. Sc. (Engineering), an assistant professor of Electrical Engineering and Electrotechnical Systems Department of MSTU. Tel.: 8 (3519) 29-84-16, e-mail: hvr\_mgn@mail.

**Галкин Виталий Владимирович** – начальник научно-технического центра, ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Контактный телефон: 8 (3519) 24-72-93.

**Galkin Vitaly Vladimirovich** – the chief of technological center of Joint Stock Company “MISW”. Tel.: 8 (3519) 24-72-93.

**Гостев Анатолий Николаевич** – электрик цеха ЛПЦ № 10, ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Контактный телефон: 8 (3519) 24-72-90.

**Gostev Anatoly Nikolaevich** – an electrician of the department rolling-mill shop No. 10 of Joint Stock Company “MISW”. Tel.: 8 (3519) 24-72-90.