

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАТЯЖЕНИЯ ПРОКАТА НА НЕПРЕРЫВНОМ СОРТОВОМ СТАНЕ

Потап О. Е., Егоров А. П., Кузьменко М. Ю.

Регулирование межклетевых натяжений является одной из наиболее важных и проблемных задач автоматизации современных непрерывных сортовых прокатных станов, от решения которой во многом зависит качество готового проката. Представлена математическая модель, позволяющая оценить влияние основных технологических возмущений на уровень натяжений – температуры и поперечных геометрических размеров по длине подката. Путем имитационного моделирования исследована работа системы автоматического регулирования натяжения проката в одном межклетевом промежутке непрерывного сортового стана. Доказана работоспособность предложенного алгоритма регулирования натяжения по изменению якорных токов прокатных двигателей на всей длине прокатываемой заготовки.

Регулювання міжклітьових натягів є однією з найбільш важливих і проблемних завдань автоматизації сучасних безперервних сортових прокатних станів, від вирішення якого залежить якість готового прокату. Представлено математичну модель, яка дозволяє оцінити вплив основних технологічних збурень на рівень натягів – температури і поперечних геометричних розмірів по довжині підкату. Шляхом імітаційного моделювання досліджено роботу системи автоматичного регулювання натягнення прокату в одному міжклітьовому проміжку безперервного сортового стана. Доведено працездатність запропонованого алгоритму регулювання натягнення за зміненням якорних струмів прокатних двигунів на усій довжині прокатуваної заготовки.

Regulation of rolled stock tension is one of the most important and problematic tasks of modern automation of continuous sections rolling mills, from the solution of which depends largely on the quality of the finished rolled products. The mathematical model allows to estimate the influence of main technological disturbances in the level of tension – temperature and cross the geometrical sizes of the slab length. By means of modelling the present paper investigates adjustment of rolled stock tension in the area between stands on continuous casting mill. The performance of the proposed algorithm for bar tension regulation with changes in anchor currents of mill drives is proved.

Потап О. Е.

канд. техн. наук, доц. НМетАУ

Егоров А. П.

канд. техн. наук, доц., зав. каф. НМетАУ  
kuzmenko.mikhail@mail.ru

Кузьменко М. Ю.

аспирант НМетАУ

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

УДК 621. 771. 065

Потап О. Е., Егоров А. П., Кузьменко М. Ю.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАТЯЖЕНИЯ ПРОКАТА НА НЕПРЕРЫВНОМ СОРТОВОМ СТАНЕ

Как известно, регулирование межклетевых натяжений является одной из наиболее важных и проблемных задач автоматизации современных непрерывных сортовых прокатных станов, от решения которой во многом зависит качество готового проката. На решение этой задачи за последние 30 лет были направлены значительные усилия как отечественных, так и зарубежных исследователей. Ими создан ряд систем автоматизации, которые в настоящее время широко эксплуатируются на действующих прокатных станах [1–3]. Тем не менее, проблема минимизации натяжений остается до конца не решенной и требует дальнейших исследований.

Наиболее технологичным при сортовой прокатке является режим малых натяжений, не превышающих  $10 \text{ Н/мм}^2$ , обеспечивающий достаточную точность поперечных размеров профилей. Причиной возникновения натяжения является рассогласование скоростей концевых сечений металла в межклетевом промежутке. К основным технологическим возмущениям, оказывающим влияние на уровень натяжений, отнесены изменения температуры и поперечных геометрических размеров по длине подката. При этом последние могут быть связаны как с наследственной разнотолщиной, наведенной при прокатке заготовки на заготовочном стане, так и с резкими изменениями межвалковых зазоров в двухниточных черновых клетях при появлении или исчезновении проката в соседних нитках.

Наиболее действенным управляющим воздействием на величину натяжения является целенаправленное согласованное изменение частоты вращения прокатных двигателей по ходу (реже против хода) прокатки.

Анализ существующих систем управления скоростным режимом на мелкосортных станах показал, что наиболее распространенным на сегодняшний день является косвенное регулирование натяжения по величине прогиба металла в последних двух чистовых промежутках.

Использование автоматизированных систем регулирования прогиба (АСРП) позволяет в 2,5–3 раза увеличить точность поперечных размеров. Тем не менее, существенным недостатком таких систем является необходимость экспертной оценки уровня натяжений со стороны опытного оператора-технолога в начальный период настройки системы. Такой же недостаток присущ методу контроля натяжений по частоте колебаний полосы в последних межклетевых промежутках.

Известный метод оценки межклетевых усилий, основанный на сравнении временных интервалов (пауз) между смежными заготовками на входе и выходе из непрерывной группы клеток не позволяет определить, какой именно межклетевой промежуток является источником натяжения, что резко усложняет выбор места внесения управляющих воздействий.

Значительный интерес представляет имеющий множество модификаций способ регулирования натяжения по величине якорных токов прокатных двигателей. Основанный на функциональной связи между натяжением и моментом прокатки, этот способ позволяет косвенно судить о величине натяжений по изменениям якорного тока прокатных двигателей, непосредственно отражающего изменения момента прокатки (момента сопротивления на валу двигателя). Сущность этого способа, как известно, состоит в сопоставлении значений

якорного тока двигателя первой (по ходу прокатки) клетки межклетевого промежутка до и после захвата металла последующей клетью. Уменьшение тока свидетельствует о натяжении, а возрастание – о «подпоре».

К сожалению, достоверность этой информации гарантирована лишь в течение непродолжительного (0,5–1,0 с) временного промежутка, непосредственно примыкающего к моменту захвата металла последующей клетью, по истечении которого нельзя с уверенностью говорить, вызвано ли отклонение тока действием межклетевых усилий или изменением технологических параметров (температура, обжатие и т. п.) в очаге деформации.

Привлекательность способа регулирования натяжения по якорным токам прокатных двигателей связана, прежде всего, с технической простотой их измерения. Это обусловило распространенность упрощенного варианта системы автоматического регулирования натяжений (САРН), осуществляющей подстройку частоты вращения валков на переднем конце заготовки по мере заполнения прокатного стана металлом. При этом основная же часть заготовки прокатывается без регулирования натяжения.

Известно техническое решение, расширяющее возможности метода регулирования натяжения по якорным токам на всю длину заготовки [1]. Однако, из-за сложности многомерного и многосвязного объекта управления, каким является непрерывный прокатный стан, работоспособность этого технического решения остается достоверно не доказанной.

В работе была поставлена задача: проверить эффективность решения [1] путем имитационного моделирования процесса регулирования натяжений в одном межклетевом промежутке непрерывного стана.

Учитывая важность, которую представляет в данном исследовании информация о якорных токах двигателей, разработана модель привода постоянного тока с системой подчиненного регулирования частоты вращения. Параметры ПИ-регулятора контура тока и П-регулятора контура скорости рассчитывались по известной инженерной методике для условий настройки на модульный оптимум. Параметры прокатных двигателей и редукторов брали по данным мелкосортного стана 250-1 ОАО «Арселор Миттал. Кривой Рог».

При моделировании использовали методику работ [2, 3] применительно к прокатке круглого профиля Ø10 мм в чистовой группе клетей мелкосортного стана 250-1 ОАО «Арселор Миттал. Кривой Рог». Удельное натяжение определяли в функции относительного рассогласования скоростей концевых сечений проката в межклетевом промежутке с учетом влияния температуры металла на модуль упругости проката. Моделирование проводили в пакете MATLAB Simulink.

На начальном этапе проведено моделирование процесса прокатки в первых двух клетях чистовой группы без регулирования натяжения (рис. 1).

При этом качестве технологических возмущений использовали гармонические колебания вертикального и горизонтального размеров заготовки (с амплитудой 0,5 мм и частотой  $5 \text{ с}^{-1}$ ) и линейное изменение температуры заготовки (от 1100 °С до 1060 °С). Проверка адекватности модели осуществлялась путем сопоставления качественных эффектов, возникающих в процессе моделирования, при изменении параметров оборудования (межвалковый зазор, диаметр, частота вращения валков) и заготовки (размеры, температура), с известными из практики эффектами, которые наблюдаются при аналогичных воздействиях. При этом порядок рассчитанных в модели значений геометрических (ширина, обжатие, вытяжка), кинематических (опережение, скорость прокатки) и энергосиловых (момент прокатки) параметров соответствовал значениям, наблюдаемым на практике.

Полученные при моделировании значения геометрических (ширина, обжатие, вытяжка), кинематических (опережение, скорость прокатки) и энергосиловых (момент прокатки) параметров соответствовали значениям, наблюдаемым на практике, а удельное натяжение существенно превышало допустимый уровень, составив около  $20 \text{ Н/мм}^2$  (рис. 2).

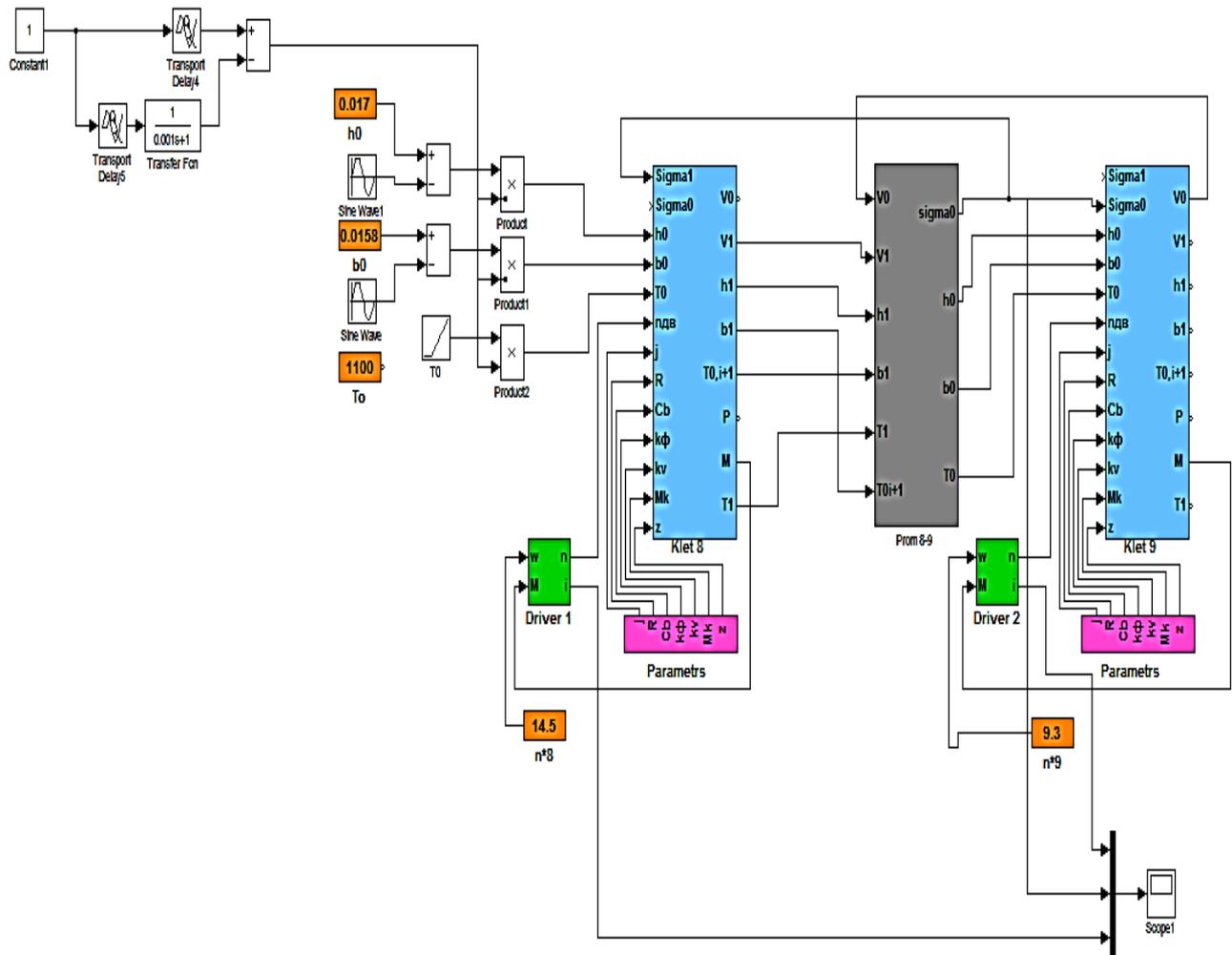


Рис. 1. Модель процесса прокатки в одном межклетевом промежутке

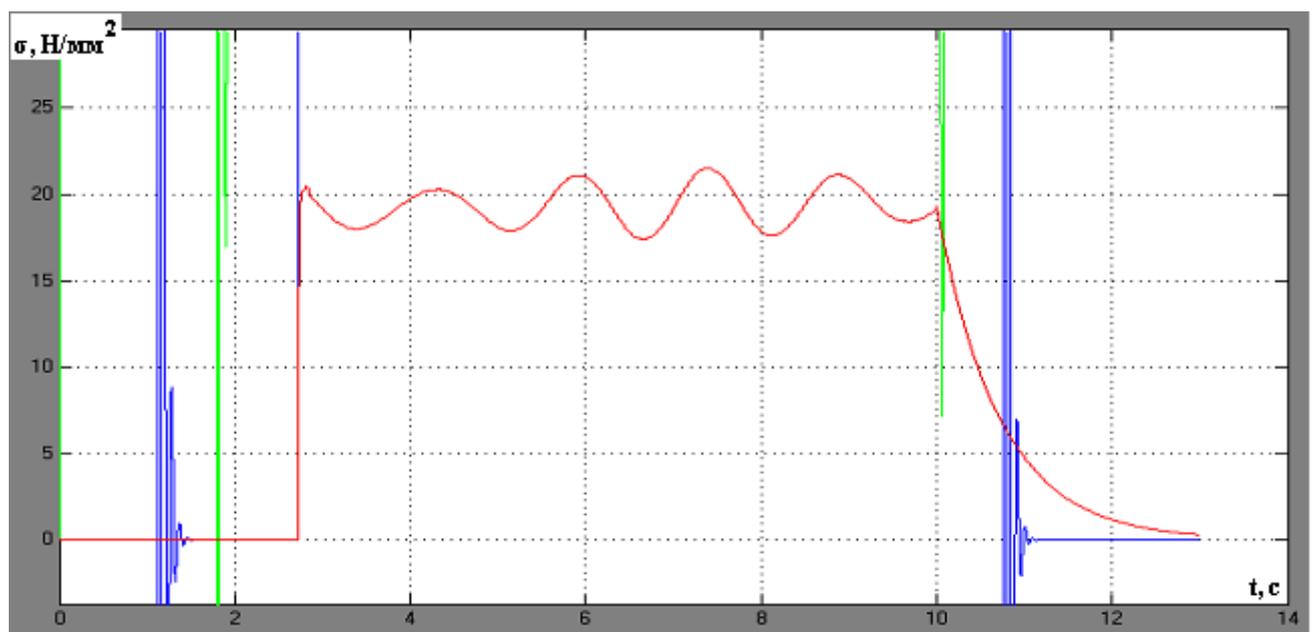


Рис. 2. График изменения натяжения при прокатке без системы регулирования натяжения

На последующем этапе исследования разработанную модель дополнили САРН по якорным токам с ограничением времени регулирования. Установлено, что использование такой системы позволяет качественно «подстраивать» режим прокатки на переднем конце раската, однако при прокатке большей части заготовки неконтролируемое натяжение может существенно превысить допустимый уровень, что особенно заметно в условиях резкого (0,5–0,8 мм) изменения вертикального размера подката вследствие изменения количества прокатываемых ниток в черновой группе клетей.

На последнем этапе исследования была разработана модель модифицированной САРН по якорным токам, позволяющая регулировать натяжение по всей длине заготовки (рис. 3). Отличительной особенностью этой САРН является то, что поначалу она работает так же, как САРН с ограничением времени регулирования. Когда же натяжение, возникшее на переднем конце заготовки, системой устранено, вычисляется коэффициент пропорциональности между токами свободной прокатки в предыдущей и последующей клетях промежуток, имеющими место при прокатке одного и того же участка заготовки. Этот коэффициент запоминается системой и используется для прогнозирования тока свободной прокатки в последующей клетке по измеренному току свободной прокатки в предыдущей клетке.

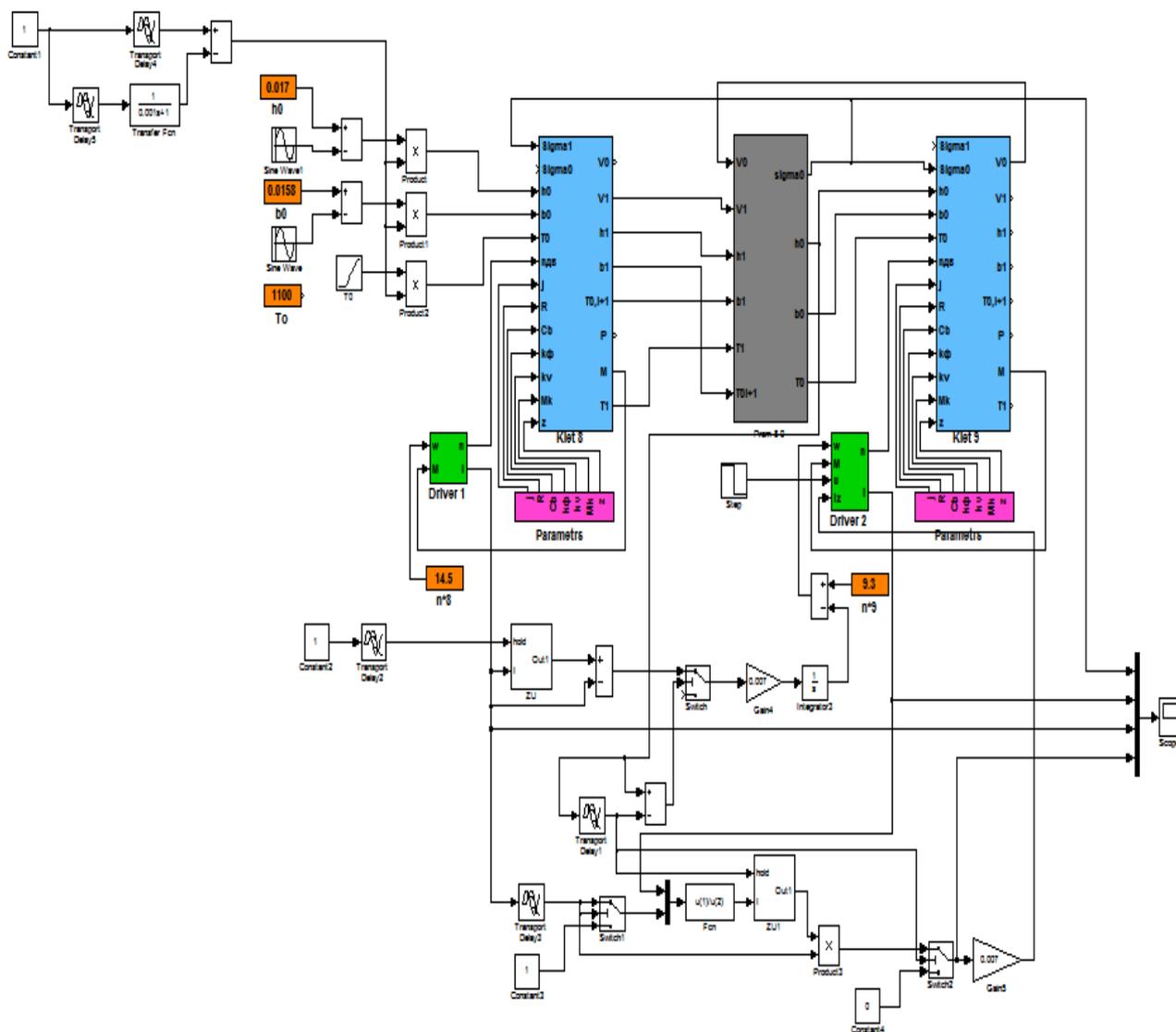


Рис. 3. Модель модифицированной САРН

Поскольку САРН, работая в режиме слежения, должна реализовывать управляющие функции путем поддержания заданного значения якорного тока, управляющее воздействие на привод последующей прокатной клетки подавали непосредственно в цепь задания контура тока, отключив на это время контур регулирования частоты. Таким образом, работа системы существенно упростилась, а динамическая точность поддержания заданного значения тока увеличилась.

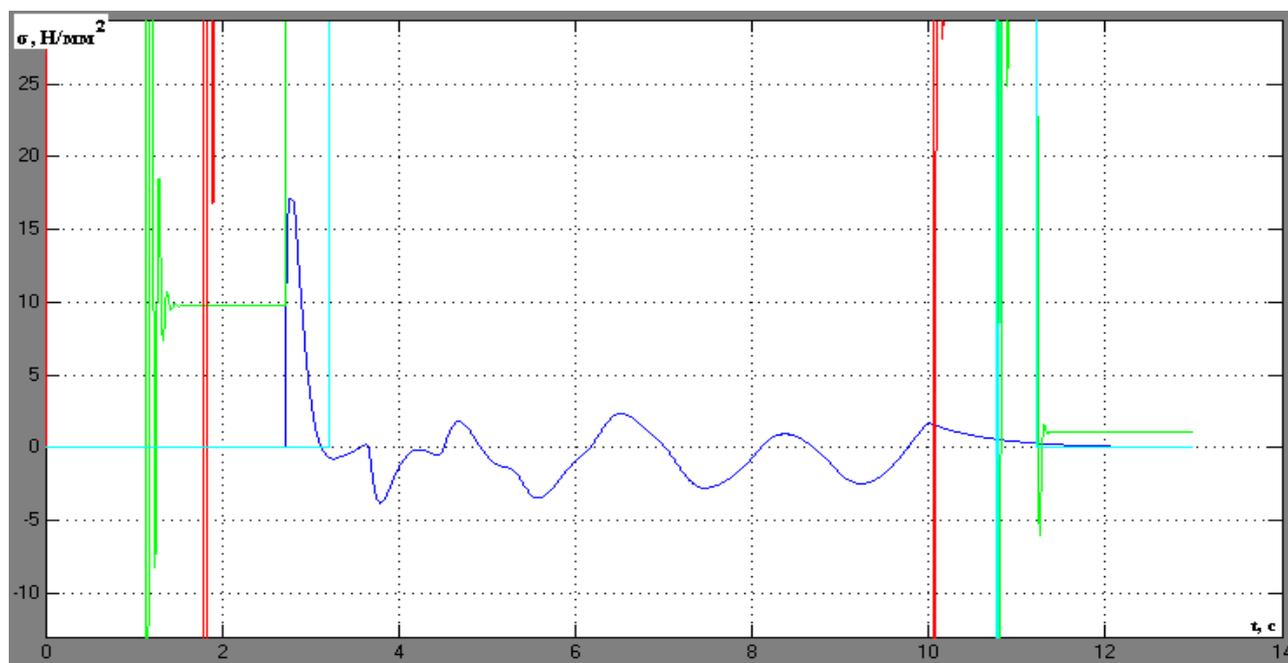


Рис. 4. График изменения натяжения при прокатке с регулированием по всей длине раската

## ВЫВОДЫ

Применение системы регулирования натяжения с прогнозированием тока свободной прокатки в электроприводе последующей клетки по значению тока электропривода предыдущей клетки обеспечивает возможность прокатки с минимальными натяжениями по всей длине заготовки. Введение задающих воздействий непосредственно в контур тока системы подчиненного регулирования частоты вращения прокатных двигателей обеспечивает высокую точность и улучшает динамические свойства САРН. Результаты моделирования предложенной САРН подтверждают возможность ее практической реализации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 1397110 (СССР). Устройство стабилизации натяжения проката на непрерывном стане / А. П. Егоров, В. С. Егоров, М. П. Пустыльник В. И. Стахно, В. С. Ткачев (СССР). – № 4097500 ; заявл. 16.07.1986 ; опубл. 23.05.1988 ; Бюл. № 19.
2. Егоров В. С. Модель передачи межклетевых усилий по стану при непрерывной сортовой прокатке / В. С. Егоров, О. Е. Потап // Теоретические проблемы прокатного производства : тез. докл. IV Всесоюз. науч.-техн. конф., Ч. I. – Днепропетровск, 1988. – С. 203–205.
3. Егоров В. С. Упрощенные уравнения для моделирования процесса прокатки на сортовых станах / В. С. Егоров, О. Е. Потап. – Днепропетровск, 1985. – 19 с.

Статья поступила в редакцию 11.10.2012 г.