

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЧЕТЫРЁХКЛЕТЬЕВОГО ПРОКАТНОГО СТАНА

Жуков С.Ф., д.т.н., проф., Шамрай А.А., асп.
Донецкий национальный технический университет
ул. Артема, 58, 83001, г. Донецк, Украина
E-mail: sfg@quantum.com.ua

Созданы технические предпосылки для промышленного исполнения систем регулирования и управления, обеспечивающих гибкое, менее энергоёмкое производство полосы металла, отличающиеся более высокими эксплуатационными характеристиками по сравнению с известными агрегатами.

Ключевые слова: регулирование, управление, энергоэффективность, электротехнический комплекс.

Введение. Технологическая линия исследуемого агрегата – четырёхклетьевого стана холодной прокатки металлической полосы, объединяет группы электромеханических систем, имеющих взаимосвязи в непрерывном технологическом процессе. Очевидно, что при оптимизации режимов работы стана первоочередной задачей является разработка автоматизированных электроприводов, учитывающих весь комплекс взаимосвязей, конструктивных особенностей механизмов объекта и обеспечивающих как выполнение всех технологических требований, так и его безаварийную работу в целом.

Цель работы. Разработка алгоритмов управления и поэтапное внедрение полученных решений, обеспечивающих гибкое, энергоэффективное производство полосы металла при одновременном увеличении производительности, снижении капитальных и эксплуатационных затрат и повышении качества продукции.

Материал и результаты исследования.

Разработанные алгоритмы реализованы в виде программных модулей для пакета визуального программирования SIMULINK математического пакета MATLAB 6.0. Экспериментальные исследования проводились в промышленных условиях путем прямого осциллографирования основных параметров, с последующей их обработкой на действующем прокатном стане.

Установлено, что передаточный коэффициент, связывающий изменение межклетьевого натяжения с изменением скорости прокатки зависит не только от уровня скорости прокатки и прокатываемой толщины, но и от обжатия металла в последующей клетке. Эта зависимость проявляется особенно сильно при малых обжатиях.

Практически реализуется приближенная коррекция.

$$K = \frac{U_{40} + a'}{f(H_{40})}, \quad (1)$$

где

$$a' = a \cdot f(H_{40}) \quad (2)$$

$$a = \frac{R_{я4}}{j_4 \cdot C_{m4}} \cdot \left(K_{54} + \frac{D_4 \cdot H_{40}}{2 \cdot H_{30} \cdot K_3} - \frac{K_{44} \cdot K'_{33}}{K_3} \right) \quad (3)$$

$$U_{40} = C e_4 \cdot n_{40}, \quad (4)$$

$$f(H_{40}) = \frac{K_3 \cdot H_{40}}{b_4 \cdot H_{40} + K_3}, \quad (5)$$

Величина a' подбирается экспериментально равной некоторому среднему значению и в процессе эксплуатации регулятора не изменяется [1].

Методом имитационного моделирования подбираются такие значения коэффициентов адаптации, единые для всего массива данных о режимах прокатки, при которых погрешности расчета мощности минимальны.

В данном случае коэффициентами адаптации являются:

а) k_{cm} – коэффициент учитывающий природу смазки, входящий в формулу коэффициента трения [2]:

$$m_1 = \frac{k_{CM} \cdot [1 + (0,4 + 0,01 \cdot \varepsilon_i) \cdot R_a]}{1 + 0,25 \cdot \sqrt{v_{50}} - 0,005 \cdot v_{50}} \times \left[0,07 - \frac{0,1 \cdot V_i^2}{2 \cdot (1 + V_i) + 3 \cdot V_i^2} \right], \quad (6)$$

где ε_i – частное относительное обжатие в клетке, %; R_a – средняя высота микронеровностей на поверхности валка, мкм; v_{50} – кинематическая вязкость смазки при 50 °С, сСт; V_i – скорость прокатки, м/с.

б) коэффициент опережения, если в очаге деформации имеется нейтральное сечение:

$$S_i = k_1 \cdot \frac{h_{Hi}}{h_i \cdot \sqrt{1 + tg^2 \frac{a}{2}}} - 1, \quad (7)$$

где k_1 – коэффициент, значение которого уточняется при адаптации технологических и энергосиловых параметров; h_{Hi} – толщина полосы в нейтральном сечении, мм; h_i – толщина полосы на выходе из i -й клетки, мм; $a/2$ – угол, характеризующий очаг деформации.

Таблица 1 – Листинг расчетных данных экспериментов из файла ЦХП, N274, RPUSK274.21C

3, АК-1, Ток 4 кл БР2 К9,						
4, АК-2, Напр 4 кл БВД К5,						
5, АК-3, Скорость 4 кл БД К9,						
6, АК-4, Ток моталки БВД К8,						
7, АК-5, Напр моталки БВД К5,						
1,N	2,t,s	3,АК-1,V	4, АК-1,V	5, АК-1,V	6, АК-1,V	7, АК-1,V
2933,	29.320393,	-1.285,	6.502,	3.657,	0.996,	8.887,
3166,	31.650424,	-1.285,	6.502,	3.631,	0.944,	8.730,
14027,	140.261880,	-2.097,	3.067,	1.691,	2.110,	2.949,
22451,	224.503010,	-1.363,	4.103,	2.281,	1.416,	3.277,

Структурная схема комплекса систем САРТиН, СУРС представлена на рис. 1. В ходе исследования была создана база данных, которая содержит основные сведения о процессе проката типового сортамента. При создании базы использовалась существующая АСУТП. Основные электрические показатели процесса прокатки зафиксированы с помощью регистратора.

На рис. 2 показаны типовые процессы, протекающие в элементах системы во время прокатки и полученные предварительные результаты расчетов энергосиловой модели.

Для достижения адекватности модели необходимо провести ряд приближений к реальному объекту регулирования. Для этого необходимо учесть, КПД генераторов, двигателей, механических передач, передаточные коэффициенты и т.д. Применение модифицированных формул должно обеспечивать погрешность расчетных и измеренных значений мощностей не более 8%.

Задача идентификационного характера в схемах регулирования толщины и натяжения успешно может решаться с использованием метода энергодиагностики, разработанного в последнее время.

Основные переменные k -клетьевого стана, характеризующие работу стана. Полоса толщиной H_{0i} поступает в i -тую клетку со скоростью V_{0i} и с задним натяжением T_{0i} , обжимается в этой клетке до толщины H_{1i} и выходит из клетки со скоростью V_{1i} при переднем натяжении T_{1i} . Начальный раствор между валками клетки d_i устанавливается нажимным устройством (НУ).

Рабочие валки приводятся во вращение двигателем D_i , который управляется от генератора и снабжен системой регулирования скорости (РС), воздействующий на поток Φ_i и напряжение на якоре U_i в функции силы тока нагрузки I_i и отклонения скорости n_i от уставки n_{0i} .

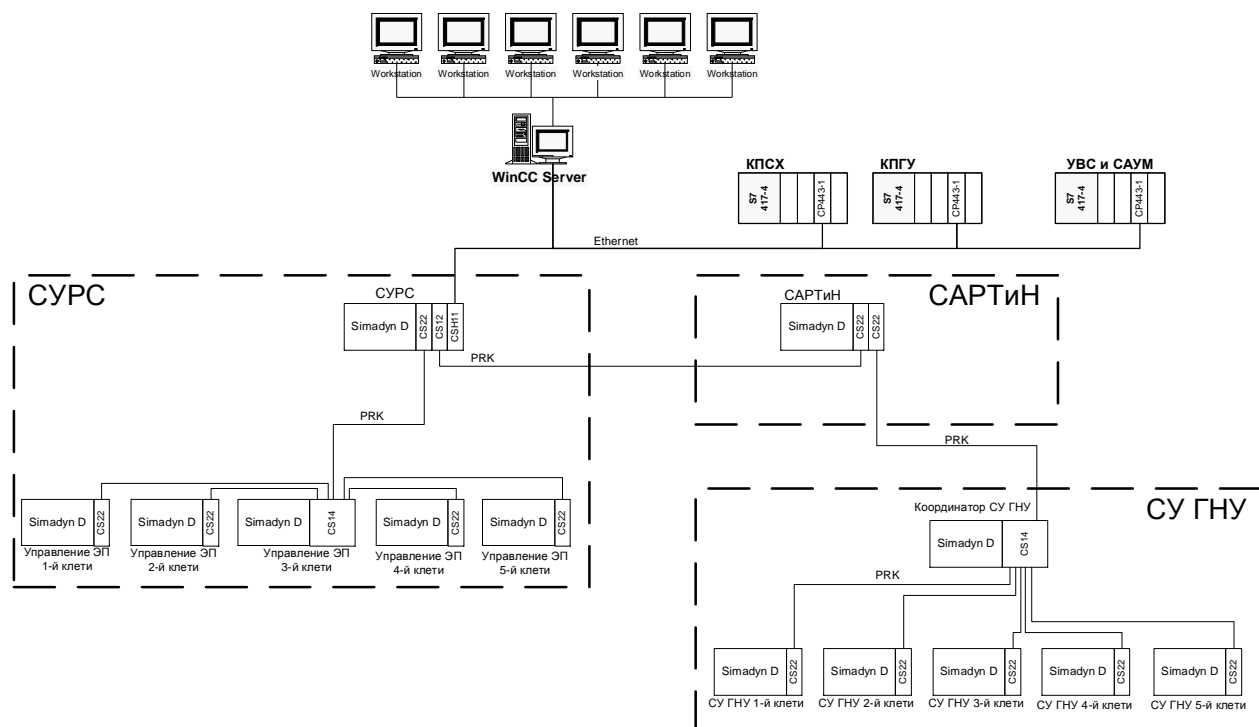


Рисунок 1 - Структурная схема комплекса систем САРТиН, СУРС

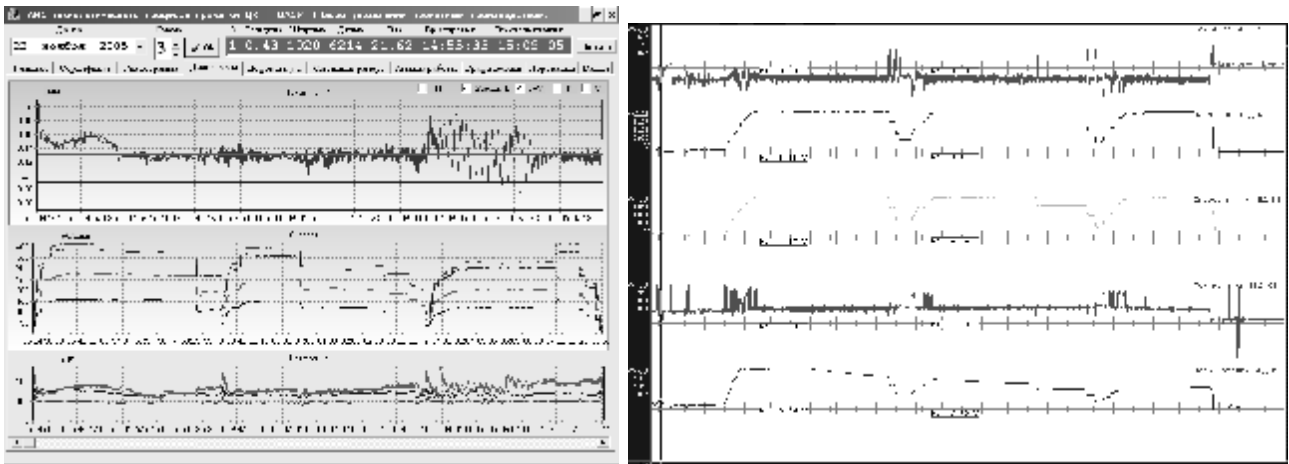


Рисунок 2 – Диаграмма процесса прокатки тонкого металла и регистрация электрических параметров процесса прокатки

Уравнение i -той клетки при записи для относительных отклонений переменных.

Уравнение для усилия момента и опережения. Указанные переменные являются сложными нелинейными функциями от входной и выходной толщины полосы H_{0i} и H_{1i} , переднего и заднего натяжения T_{0i} и T_{1i} , сопротивления деформации полосы K_{0i} и K_{1i} на входе и выходе из клетки, коэффициента трения μ , радиуса валков R и могут быть представлены в общем виде:

$$I_i = I_i(H_{0i}, H_{1i}, T_{0i}, T_{1i}, K_{0i}, K_{1i}, \mu, R_i). \quad (8)$$

При малых изменениях переменных приращения нелинейных функций можно приближенно выразить через приращения их аргументов:

$$\begin{aligned} \Delta I_i = & \frac{\partial I_i}{\partial H_{0i}} \Delta H_{0i} + \frac{\partial I_i}{\partial H_{1i}} \Delta H_{1i} + \\ & + \frac{\partial I_i}{\partial T_{0i}} \Delta T_{0i} + \frac{\partial I_i}{\partial T_{1i}} \Delta T_{1i} + \frac{\partial I_i}{\partial K_{0i}} \Delta K_{0i} + \\ & + \frac{\partial I_i}{\partial K_{1i}} \Delta K_{1i} + \frac{\partial I_i}{\partial \mu} \Delta \mu + \frac{\partial I_i}{\partial R_i} \Delta R_i. \end{aligned} \quad (9)$$

Параметр ΔR позволяет учесть в синтезируемой модели возмущения, вызванные эксцентриситетом валков.

Уравнение упругой деформации системы валок – клетка:

$$H_{1i} = d_i + P_i/Q_i - d_{Pi}. \quad (10)$$

Разрешая относительно P_i и переходя к относительным приращениям, получим:

$$\frac{\Delta P_i}{P_i} = \frac{Q_i \cdot H_{1i}}{P_i} \cdot \left(\frac{\Delta H_{1i}}{H_{1i}} - \frac{\Delta d_i}{H_{1i}} + \frac{\Delta d_{Pi}}{H_{1i}} \right) \quad (11)$$

Уравнение скорости полосы на выходе i -той клетки:

$$V_{1i} = \frac{2p \cdot R_i}{60 \cdot j_{pi}} \cdot f_i \cdot n_i, \quad (12)$$

$$f_i = 1 + S_i. \quad (13)$$

Полное приращение скорости:

$$\Delta V_{1i} = \frac{2p \cdot R_i}{60 \cdot j_{pi}} \cdot (f_i \cdot \Delta n_i + n_i \cdot \Delta f_i + \Delta n_i \cdot \Delta f_i). \quad (14)$$

Закон постоянства секундного объема при прокатке без уширения:

$$H_{0i} \cdot V_{0i} = H_{1i} \cdot V_{1i}. \quad (15)$$

Как показали экспериментальные исследования, динамика межклетевых натяжений определяется в основном постоянными времени приводов, жесткостью механических характеристик главных приводов и зависимостью опережения от натяжения полосы. При этом учет упругости полосы мало изменяет картину переходных процессов и с небольшой погрешностью полосу можно принять бесконечно жесткой. Это эквивалентно допущению, что скорость входа полосы в последующую клетку всегда равна скорости выхода из предыдущей:

$$V_{1i} = V_{0,i-1}. \quad (16)$$

Условие равенства переднего натяжения полосы в i -той клетки заднему натяжению полосы в $(i-1)$ -й клетки:

$$T_{1i} = T_{0,i-1}. \quad (17)$$

Уравнение транспортного запаздывания при прохождении полосы между клетками:

$$H_{0,i-1} = e^{-pt_i} \cdot H_{1i}, \quad (18)$$

где t_i – запаздывание между i -той клеткой.

Метод энергодиагностики базируется на использовании полных уравнений мгновенной мощности.

С использованием метода энергодиагностики успешно может быть решен целый ряд задач научного и технического характера, важных в принципиальном отношении. Известно, что анализ электротехнических схем, электромеханических устройств по соответствующим схемам замещения осуществляется с использованием уравнений баланса напряжений, соотношений, вытекающих из закона Кирхгофа. Энергетические соотношения при этом не используются. В лучшем случае по итогам анализа осуществляется проверка на соответствие получен-

ных результатов закону сохранения энергии в форме

баланса мощностей.

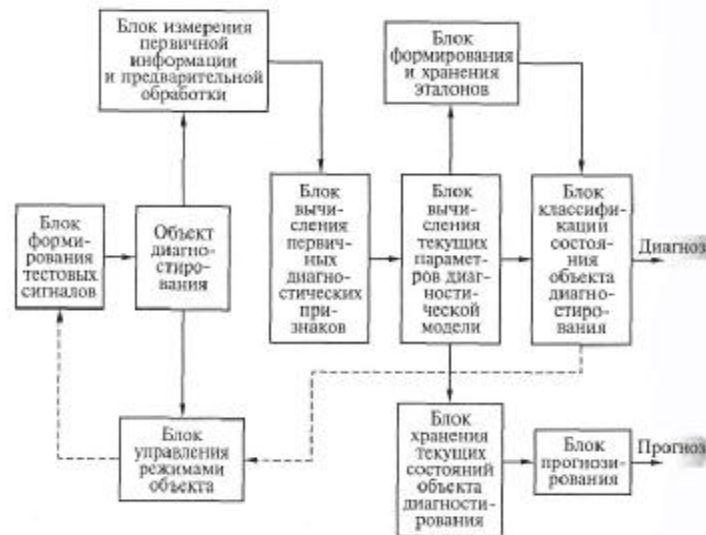


Рисунок 3 – Блок-схема диагностирования

Система регистрации аварий. В состав программы включена система регистрации и сигнализации аварийных и тревожных ситуаций.

Регистрация аварий начинается при запуске программы.

Накопление данных происходит в архиве аварий. Регистрация аварий прекращается при выходе из системы.

На компьютере ведутся архивы сообщений с фиксацией фактов прихода и ухода сообщения и в любое время доступны для просмотра и распечатки. Если количество сохраненных сообщений достигает максимального значения, новые сообщения будут записываться поверх старых. Сообщения, хранящиеся в архиве, отображаются в окне сообщений.

Диагностическая информация представляет собой информацию о том, где и какое устройство не выполнило свои функции.

Автоматизированный контроль работы АСУТП. Подсистема автоматизированного контроля работы оборудования предназначена для сбора и предоставления эксплуатационному персоналу диагностических данных о состоянии технических средств АСУ

ТП и механизмов стана. Основная задача системы – сокращение времени обнаружения и устранения причин неисправности оборудования. Контролировать работу оборудования можно как с сервера, так и с клиентских компьютеров.

Подсистема решает задачи:

- 1) вывод оперативной информации о неисправностях оборудования АСУ ТП и приводов.
 - «Диагностика» - видеокadres для обработки аварийных ситуаций
 - строка системы сообщений
- 2) Диагностика технических средств АСУ ТП.
 - визуализация готовности технического оборудования к работе в различных режимах.
 - индикация состояния и режимов работы механизмов.

Для выполнения задач диагностики разработаны видеокadres. На них показана общая картина состояния оборудования. Информация о диагностируемых неисправностях выдается оператору в виде сообщений.

Для контроля работы АСУ ТП используются теги контроллера.

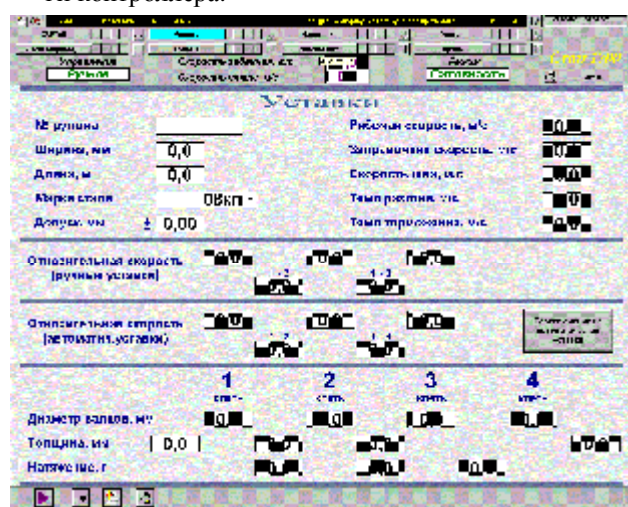


Рисунок 4 – Видеокadres – САПТИН. Технологический и уставки системы

Выводы. В результате экспериментальных исследований подтверждена возможность практической реализации в прокатной линии новых алгоритмов управления и поэтапность ввода в эксплуатацию всего комплекса систем регулирования и управления, показана возможность снижения энергопотребления при прокатке средствами разработанных систем управления.

Созданы технические предпосылки для промышленного исполнения систем регулирования и управления, обеспечивающих гибкое, менее энергоемкое производство полосы металла, отличающиеся более высокими эксплуатационными характеристиками по сравнению с известными агрегатами.

Экспериментальные исследования показали, что возможности стана не используются на полную мощность. В процессе ручных корректировок скорости часть длины полос прокатывают с увеличенными отклонениями от заданных размеров и плоскостности. Колебания натяжений приводят к изменениям усилий прокатки и упругих деформаций валков, в результате увеличивается продольная и поперечная неравномерность толщины, а также нарушается плоскостность полос.

Адаптация электротехнического комплекса СУРСа, САРТиНа и СУСа к объекту исследования с применением предложенной концепции регулирования позволит улучшить:

- скоростные режимы прокатки, режимы обжатий, натяжений и усилий;
- стабилизировать толщину конечного проката;
- увеличить производительность стана;
- настроить режим прокатки стана для максимального использования его функциональных возможностей.

Направление дальнейшего исследования стана связаны с:

- определением возможности проката тонкого сортамента;
- увеличением устойчивости процесса прокатки;
- уменьшением допусков толщины проката;
- адаптацией предложенной концепции САРТиН к существующей системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Система автоматической коррекции скоростного режима непрерывной холодной прокатки полосы металла - А.А. Шамрай. Труды XI Международной научно-технической конференции «ПСЭ-2010» – Киев, 2010.

2. Синтез систем автоматического управления непрерывными станами холодной прокатки/ Б.С. Бройдо – М.: Металлургия, 1978.– 160 с.

Стаття надійшла 10.03.2011 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Бештою О.С.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЧОТИРЬОХКЛЕТЬОВОГО ПРОКАТНОГО СТАНУ

*Жуков С.Ф., д.т.н., проф., Шамрай О.А., асп.
Донецький національний технічний університет
ул. Артема, 58, 83001, г. Донецьк, Україна
E-mail: sfg@quantum.com.ua*

Створені технічні передумови для промислового виконання систем регулювання і управління, які забезпечують гнучке, менш енергоємне виробництво смуги металу, що відрізняються вищими експлуатаційними характеристиками порівняно з відомими агрегатами.

Ключові слова: регулювання, керування, енергоефективність, електротехнічний комплекс.

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF OPERATING MODES OF THE ELECTROTECHNICAL COMPLEX OF THE ROLLING MILL

*Zhukov S., Doc. Sc. (Tech.), Prof., Shamray A., post-grad.
Donetsk National Technical University
Artema, 58, 83001, Donetsk, Ukraine
E-mail: sfg@quantum.com.ua*

Technical pre-conditions are created for industrial execution of the systems of adjusting and control, providing flexible, a less power-consuming production is bars of metal, different high operating descriptions as compared to the known aggregates.

Key words: regulation, control, power efficiency, electrotechnical complex.