

УДК 621.771.065:65.011.56

С. Ф. ЖУКОВ (д-р техн. наук, проф.), **А. А. ШАМРАЙ**
Государственное высшее учебное заведение
«Донецкий национальный технический университет»
sfg@quantum.com.ua

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ АГРЕГАТОМ

Рассмотрена задача многокритериальной оптимизации электротехнического комплекса с учетом динамических и энергетических показателей путем исследования процессов и режимов работы агрегата.

Многокритериальная оптимизация, система управления, электротехнический комплекс, энергосиловая модель.

Введение в проблему. Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что уменьшение затрат энергии за счет выбора оптимальных режимных параметров процесса и законов (алгоритмов) управления может достигать от 5 до 15 %. При этом происходит снижение динамических нагрузок, энергетических затрат, повышение долговечности и безопасной эксплуатации объекта, в нашем случае - прокатного стана.

Задача оптимизации и построения систем управления, позволяющих реализовать оптимальные динамические свойства электротехнического комплекса в условиях ограниченных ресурсов источника питания и задача оптимального сочетания энергетических и динамических свойств объекта регулирования, в настоящее время актуальна. В этом случае необходим комплексный подход постановки и решения задачи оптимизации в системе управления, позволяющий рассматривать объект как единое устройство с цепями питания, управления и механической частью.

Методика оптимизации. Поиск оптимальных параметров и условий оптимального управления является многокритериальной задачей.

Конструктивные параметры $P1$ и режимные параметры $P2$ образуют пространство параметров A .

В зависимости от цели решаемой задачи выделяют варьируемые параметры, которые образуют пространство размерности An (n – число варьируемых параметров).

Для оценки эффективности работы электропривода при оптимизации приняты следующие критерии:

$\Phi 1$ – потребляемая мощность из сети;

$\Phi 2$ – потребляемая активная мощность;

$\Phi 3$ – реактивная мощность;

$\Phi 4$ – коэффициент полезного действия;

$\Phi 5$ – среднеквадратичная ошибка переходных процессов электропривода;

$\Phi 6$ – функция энергетического состояния ЭП;

$\Phi 7$ – функция, оценивающая быстродействие ЭП;

$\Phi 8$ – удельный расход энергии на единицу полезного продукта.

Поиск оптимальных параметров осуществляется адаптивным поиском. Отличительной особенностью предлагаемого адаптивного метода поиска является систематический просмотр многомерных областей пространства параметров. Для зондирования пространства параметров используются точки равномерно распределенных последовательностей, которые обладают наилучшими характеристиками равномерности.

Вычисление каждого критерия ($\Phi 1$ - $\Phi 8$) выполняется по значениям векторов состояния V_j и углов p_j , определяющих положение вектора $V_{j,j}$.

Результатом работы являются две таблицы (таблица испытаний и упорядоченная таблица испытаний) настроенные на оптимальном множестве расчетных векторов.

Важным моментом в процедуре принятия решения является выбор начальных критериальных ограничений. Диалоговой системой предлагается ограничение, которое является характерным для любой упорядоченной таблицы испытаний. Это ограничение может быть получено одновременным улучшением всех критериев, пока не будет достигнута граница между пустым и не пустым множеством решений $/R/$.

Предельный вариант таблицы удобно использовать в качестве начального критериального ограничения. Он дает решение при одновременном улучшении всех критериев с учетом их равнозначности и характеризует предельно допустимые возможности электропривода. Дальнейшее улучшение критерия повлечет за собой ухудшение хотя бы одного другого критерия. Применение метода многокритериальной оптимизации электропривода обуславливает повышение эффективности его работы, определяет область рационального применения для систем управления.

На функциональной схеме рисунок 1 обозначено:

СУНВ1 - СУНВ4 – система управления нажимными винтами клетки 1...4; РНВ1 - РНВ3 – регуляторы натяжения

© Жуков С. Ф., Шамрай А. А., 2011

с воздействием на нажимные винты последующей клетки; ОН1 – ОН3 – ограничители натяжения; РНК2, РНК3 – регуляторы натяжения с воздействием на предыдущую клетку; РТ1 – регулятор толщины во входной зоне стана; РТ4 – регулятор толщины с воздействием на клетку 4; РТ34 – регулятор толщины с воздействием на клетки 3,4; СУК1 – СУК4 – система управления клетью; КС1 – КС4 – компенсатор стана; КЭС – компенсатор эффекта скорости; ИН1 – ИН3 – измерители натяжения; ИТ1, ИТ4 – измерители толщины.

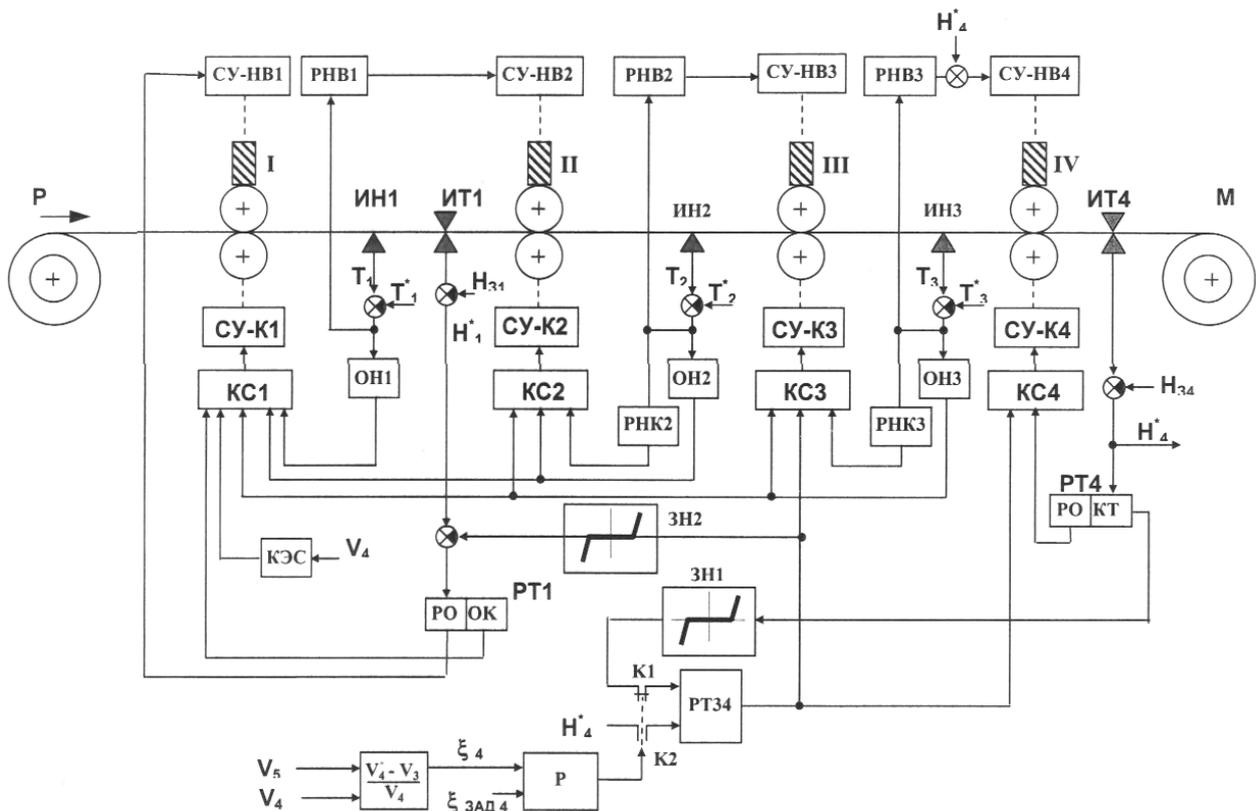


Рисунок 1 – Функциональная схема комплекса САРТУН стана «1700»

Регулирование толщины во входной зоне стана, осуществляется регулятором РТ1. Регулятор РТ1 состоит из двух контуров регулирования, первый контур состоит из регулятора по отклонению (РО), который по сигналу отклонения толщины от задания с измерителя толщины ИТ1 воздействует на нажимные устройства первой клетки. Причем предусмотрены два варианта воздействия, первый – воздействие на скорость нажимных устройств (НВ1), второй – на позицию. Второй контур представляет из себя опережающий канал (ОК), который по сигналу относительного отклонения толщины от задания воздействует на относительную скорость первой клетки. В этом регуляторе учитывается время транспортирования участка с отклонением толщины от измерителя толщины ИТ1 до зева валков второй клетки стана.

Каждый межклетевой промежуток снабжен регулятором натяжения с воздействием на нажимные винты последующей клетки РНВ1, РНВ2, РНВ3. Проектируется два варианта РНВ, первый с воздействием на скорость двигателей нажимных винтов, второй вариант РНВ с воздействием на позицию НВ. В каждом межклетевом промежутке располагаются ограничитель межклетевого натяжения ОН1, ОН2, ОН3.

Экспериментальная часть. 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 рисунке 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%. [1]

Теоретические исследования и построение энергосиловой модели стана непрерывной холодной прокатки металла. Задача идентификационного характера в схемах регулирования толщины и натяжения успешно решается 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_{li} при переднем натяжении T_{li} . 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} .

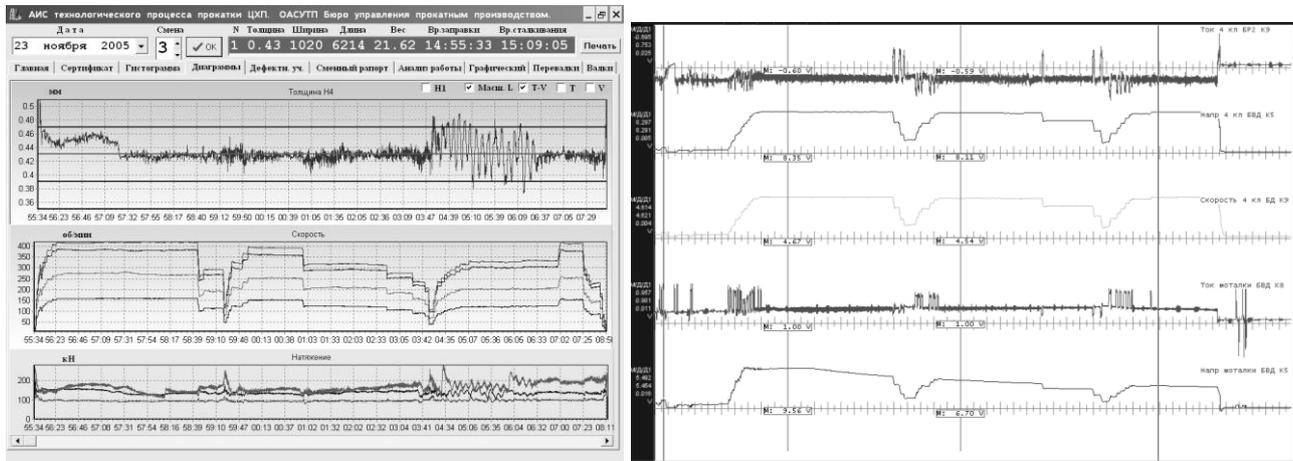


Рисунок 2 – Диаграмма процесса прокатки тонкого металла и регистрация электрических параметров процесса прокатки

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_{li} , переднего и заднего натяжения T_{0i} и T_{li} , сопротивления деформации полосы K_{0i} и K_{li} на входе и выходе из клетки, коэффициента трения μ , радиуса валков R и могут быть представлены в общем виде:

$$\lambda_i = \lambda_i(H_{0i}, H_{li}, T_{0i}, T_{li}, K_{0i}, K_{li}, \mu_i, R_i). \quad (1)$$

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

$$\begin{aligned} \Delta\lambda_i = & \frac{\partial\lambda_i}{\partial H_{0i}} \Delta H_{0i} + \frac{\partial\lambda_i}{\partial H_{li}} \Delta H_{li} + \\ & + \frac{\partial\lambda_i}{\partial T_{0i}} \Delta T_{0i} + \frac{\partial\lambda_i}{\partial T_{li}} \Delta T_{li} + \frac{\partial\lambda_i}{\partial K_{0i}} \Delta K_{0i} + \\ & + \frac{\partial\lambda_i}{\partial K_{li}} \Delta K_{li} + \frac{\partial\lambda_i}{\partial \mu_i} \Delta \mu_i + \frac{\partial\lambda_i}{\partial R_i} \Delta R_i. \end{aligned} \quad (2)$$

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

Уравнение упругой деформации системы валок – клеть:

$$H_{li} = d_i + P_i/Q_i - d_{Pi}. \quad (3)$$

Разрешая относительно P_i и переходя к относительным приращениям, получим:

$$\frac{\Delta P_i}{P_i} = \frac{Q_i \cdot H_{li}}{P_i} \cdot \left(\frac{\Delta H_{li}}{H_{li}} - \frac{\Delta d_i}{H_{li}} + \frac{\Delta d_{Pi}}{H_{li}} \right). \quad (4)$$

Уравнение скорости полосы на выходе i -той клетки:

$$V_{li} = \frac{2\pi \cdot R_i}{60 \cdot j_{pi}} \cdot f_i \cdot n_i. \quad (5)$$

$$f_i = 1 + S_i. \quad (6)$$

Полное приращение скорости:

$$\Delta V_{li} = \frac{2\pi \cdot R_i}{60 \cdot j_{pi}} \cdot (f_i \cdot \Delta n_i + n_i \cdot \Delta f_i + \Delta n_i \cdot \Delta f_i). \quad (7)$$

Закон постоянства секундного объема при прокатке без уширения:

$$H_{0i} \cdot V_{0i} = H_{li} \cdot V_{li}. \quad (8)$$

Как показали экспериментальные исследования, динамика межклетьевых 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 клеть всегда равна скорости выхода из предыдущей:

$$V_{li} = V_{0,i-1}. \quad (9)$$

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

$$T_{li} = T_{0,i-1}. \quad (10)$$

Уравнение транспортного запаздывания при прохождении полосы между клетями:

$$H_{0,i-1} = e^{-p\tau_i} \cdot H_{li}, \quad (11)$$

где τ_i – запаздывание между i -той клетью.

Система уравнений полностью определяет линейную математическую модель одной клетки в неявной форме.[2]

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 полученных результатов закону сохранения энергии в форме баланса мощностей.

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 сообщений 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.

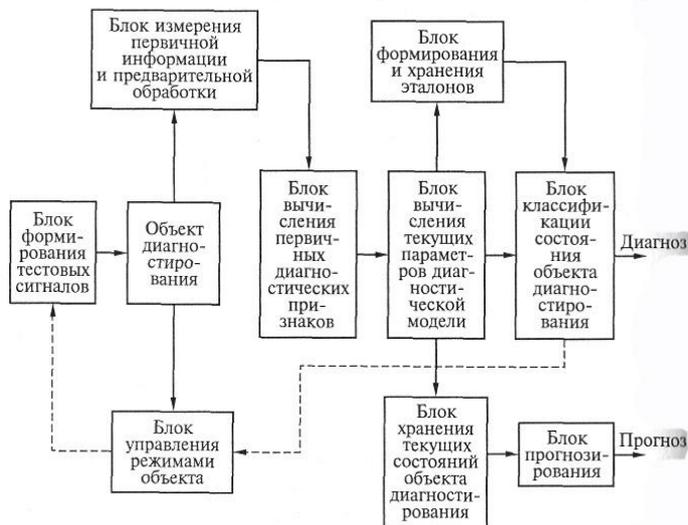


Рисунок 3 – Блок-схема диагностирования

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

Выводы.

Экспериментальные исследования показали, что возможности стана используются не полностью. 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. Шамрай А.А. Система автоматической коррекции скоростного режима непрерывной холодной прокатки полосы металла / Шамрай А.А. – Труды XI Международной научно-технической конференции «ПСЭ-2010». – К.: 2010.
2. Бройдо Б. С. Синтез систем автоматического управления непрерывными станами холодной прокатки / Бройдо Б. С. – М.: Металлургия, 1978. – 160 с.

Надійшла до редколегії 30.03.2011

Рецензент: О.І.Толочко

С. Ф. ЖУКОВ, О.О.ШАМРАЙ
Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»

S. ZHUKOV, A. SHAMRAY
State Institution of Higher Education
«Donetsk National Technical University»

Багатокритеріальна оптимізація системи автоматичного управління металургійних агрегатів. Розглянуто задачу багатокритеріальної оптимізації електротехнічного комплексу з урахуванням динамічних і енергетичних показників шляхом дослідження процесів і режимів роботи агрегату.

Багатокритеріальна оптимізація, система управління, електротехнічний комплекс, енергосилова модель.

Multiobjective Optimization of Automatic Control System of Metallurgical Equipment. The problem many criterion of optimization of an electrotechnical complex taking into account dynamic and power indicators by probe of processes and unit modes of behavior is considered.

Multicriteria optimization, control system, electrical complex, energy-power model.