

температуры листа, усилия прокатки, скорости прокатки и положения нажимных винтов клетки, фотореле, а также устройств связи с объектом для ввода измеряемых величин в ПЭВМ.

Для проверки разработанной системы и ее алгоритмов функционирования была создана лабораторная установка, которая позволила на базе ПЭВМ выполнить имитационное моделирование системы АСКК. При моделировании использованы экспериментальные данные, полученные на реальном технологическом объекте, подтверждена работоспособность полученных научно-технических решений.

Список источников

1. Иевлев Н.Г., Грабовский Г.Г. Математические модели и алгоритмы управления в АСУ ТП толстолистовых прокатных станов. – К.: Техніка, 2001.-248 с.
2. Грабовский Г.Г., Полещук В.В., Твардовский В.П., Рюмшин Н.А. Построение математических моделей оптимальной сложности и их адаптация в АСУ ТП ТЛС // Автоматизация виробничих процесів. – 1997. - № 2. – с.65-71.
3. Ивахненко А.Г., Высоцкий В.Н., Ивахненко Н.А. Основные разновидности критерия минимума смещения модели и исследование их помехоустойчивости // Автоматика. – 1978. - № 1. с.32-33.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ АСУ ТОЛСТОЛИСТОВЫХ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Грабовский Г.Г.

НПК Киевский институт автоматки

Интеграция функций управления организационными и технологическими процессами прокатного производства должна обеспечивать достижение наиболее эффективного использования материальных, энергетических, природных, трудовых и финансовых ресурсов в процессе организации работ и производства прокатной продукции. ИАСУ прокатного производства должна обеспечивать выполнение широкого спектра задач принятия решений, контроля и управления: планирования, организационного управления, слежения за ходом технологических и производственных процессов, оптимизации этих процессов [1,2,3].

В создании и промышленной реализации систем автоматизированного управления толстолистовыми прокатными станами (ТЛС) в Украине и СНГ достигнуты определенные положительные результаты, однако, такие задачи решались не комплексно, в основном на уровнях управления только технологическими процессами. В процессе создания комплексных систем автоматизации, в том числе интегрированных систем, в НПК "КИА" были выполнены обширные теоретические и экспериментальные исследования как в лабораторных условиях путем моделирования, так и на ряде промышленных объектов. Опытные разработки систем испытывались и внедрялись на ряде ТЛС на Украине, в ближнем и дальнем зарубежье [4]:

При создании комплексных автоматизированных информационно-управляющих систем в прокатном производстве решается комплекс взаимосвязанных задач, в состав которых входят разработки систем управления производственными и технологическими процессами, синтез информационных систем, средств диагностики оборудования и контроля качества продукции, средств проектирования и подготовки производства. Такие интегрированные системы могут быть эффективными при системном подходе к оптимизации их структурирования и комплектования техническими и программными средствами. Информация в ИАСУ стала основой интеграции, важным фактором производства. Представление информации и ее интеграция превратилась в эффективный фактор конкурентного успеха работы автоматизированного объекта. Поэтому существенно возросло значение интеграции производственных процессов в масштабах всего цеха или предприятия, причем, не только в аспекте оптимизации потоков материалов и энергии, но и потоков информации.

При глобальной постановке задачи оптимизации управления выходные показатели работы сложного объекта могут характеризоваться единым экономическим критерием качества в виде функционала, определенного на всем диапазоне управления (t_0, t_1)

$$J = \int_{t_0}^{t_1} f[y(\tau), y_3(\tau), u(\tau)] dt, \quad (1)$$

где t_0, \dots, t_I – интервал времени управления; $y_3(\tau)$ – задание; $y(\tau)$ – показатели управления; $u(\tau)$ – управляющее воздействие; J – функционал, характеризующий меру ошибки управления.

Определив цели и критерии управления, задаются и математические модели объекта, начальные условия и ограничения. Математическая модель объекта, определенная по переменным состояния, представляется в форме:

$$\left. \begin{aligned} \bar{x}(t) &= \bar{A}(t)\bar{x}(t) + \bar{B}(t)\bar{u}(t) \\ \bar{y}(t) &= \bar{C}(t)\bar{x}(t) + \bar{D}(t)\bar{u}(t) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где, $\bar{A}(t)$, $\bar{B}(t)$, $\bar{C}(t)$, $\bar{D}(t)$ – матрицы коэффициентов системы;

$\bar{x}(t)$, $\bar{y}(t)$, $\bar{u}(t)$ – векторы выходных переменных, состояний системы и управляющих воздействий соответственно.

При постановке задачи оптимального управления исходят из того, что векторы $\bar{x}(t)$ и $\bar{u}(t)$ принадлежат некоторой допустимой области:

$$\bar{x}(t) \in \bar{G}_x; \quad \bar{u}(t) \in \bar{G}_u \quad (3)$$

Практическое применение такого экономического критерия оптимальности при управлении мощными технологическими объектами сопряжено с необходимостью математического описания всех функциональных связей в объекте. Эта задача не всегда поддается решению, так как взаимосвязь ряда показателей процесса с экономикой объекта не имеет количественного описания. Кроме того, задача оптимизации сложного объекта является многокритериальной и вопрос выбора критериев определяется особенностями конкретного объекта и целями его функционирования [5]. В многокритериальном объекте обычно выделяется основная целевая функция, а другие, как частные цели, включаются в состав ограничений. Тогда главная целевая функция математически представляется в зависимости от нескольких функций частных целей $Y_u = f(Y_1, Y_2, \dots, Y_m)$, которую, однако, редко удается математически представить в явной форме. Поэтому в практике построения ИАСУ комплексных объектов получила применение декомпозиция, основанная на разделении

сложного процесса на отдельные относительно автономные подпроцессы. При синтезе ИАСУ ТЛС показано, что декомпозиция объекта существенно упрощает его математическое описание, поскольку оно сводится к раздельному описанию и анализу каждого технологического подпроцесса. Но здесь приходится учитывать и следующие две особенности управления подпроцессами.

Если комплексный процесс может быть разделен на несколько взаимно независимых подпроцессов, то оптимальное управление всем процессом достигается при оптимальной настройке по заданным критериям взаимно независимых локальных подсистем в составе всего комплекса ИАСУ. Если же отдельные технологические участки и их подпроцессы взаимосвязаны, что зачастую имеет место, то автономное оптимальное управление подпроцессами по локальным критериям не может обеспечить оптимальное ведение всего процесса в целом, т.е. его глобальную оптимизацию. Для устранения этого недостатка необходимо отдельные оптимизированные управляющие подсистемы подчинить вышестоящей координирующей системе, в функции которой входят устранение конфликтных ситуаций между задачами управления подпроцессами и достижение глобальных целей в управлении процессом в целом. Координирующая система, таким образом, обеспечивает интеграцию системы в единый управляющий комплекс, функционирующий по выбранному основному критерию оптимизации работы объекта.

На ТЛС отдельные технологические операции (нагрев металла, прокатка, отделка прокатной продукции) взаимосвязаны. Поэтому автономное управление подпроцессами не может обеспечить удовлетворительного ведения всего процесса в целом. Необходимо отдельные оптимизированные управляющие подсистемы дополнить вышестоящим координатором, основными функциями которого являются устранение конфликтов между задачами управления подпроцессами (т.е. согласование совместного функционирования подсистемы) и достижение глобальных целей в управлении процессом в целом.

Возможности эффективного технического сопряжения отдельных функциональных подсистем в единую модель управляющего комплекса, соответствующую современным

тенденциям, обеспечиваются следующими тремя взаимно интегрированными составляющими: системой планирования производственных ресурсов предприятия или цеха; системой управления производством; открытой системой управления технологическими процессами.

Рассматривая структуру ИАСУ применительно к комплексной автоматизации цеха толстолистовой прокатки, в состав которого входят участок нагревательных печей, участок прокатных клетей, участок раскроя полос, участки отделки и термической обработки листов, введем следующие обозначения для организационно-технологических процессов:

\bar{u} – вектор параметров одной заготовки, регламентируемых при фабрикации заявок (марка стали, геометрические параметры, тип слэбов, иные параметры, если они указаны в заявке);

$\bar{U} = \cup \bar{u}$ – объединение параметров \bar{u} по всем заготовкам, указанным в фабрикуемой заявке на данный период времени T (т.е. \bar{U} выражает всю информацию, определяемую заявкой на период T);

\bar{u}_1 – соответствующая информация по заготовкам, имеющимся на складе или ранее заявленным;

\bar{v} – вектор параметров, определяющих режим обработки одной заготовки (параметры нагрева, обжатия по пропускам, скорости прокатки, температуры и т.п.);

\bar{v}_1 – вектор, выражающий известную информацию о состоянии оборудования технологической линии стана (допустимые нагрузки, действующие агрегаты, характеристики валков и т.п.);

\bar{w} – вектор параметров, характеризующий прокатанную полосу (геометрические параметры, физико-механические свойства, показатели качества металла);

\bar{w}_1 – вектор параметров, выражающих остальные (кроме \bar{w}) показатели на выходе процесса прокатки одной заготовки (расход энергии, продолжительность процесса и т.д.);

\bar{V} – режим нагрева и прокатки всех заготовок.

Далее представим

$$\bar{V} = \cup \bar{v}, \bar{V}_1 = \cup \bar{v}_1, \bar{W} = \cup \bar{w}, \bar{W}_1 = \cup \bar{w}_1 \quad -$$

соответствующие объединения $\bar{v}, \bar{v}_1, \bar{w}, \bar{w}_1$ по всем заготовкам, прокатываемым в период времени T (так что \bar{V} определяет режим нагрева и прокатки всех заготовок, \bar{W} характеризует совокупность всех прокатанных полос, \bar{W}_1 – совокупность всех иных выходных показателей процесса прокатки за период T).

Технологический процесс прокатки в принятых обозначениях описывается для данной заготовки следующими соотношениями:

$$\bar{w} = f(\bar{u}, \bar{v}, \bar{v}_1, \bar{x}); \quad (4)$$

$$\bar{w}_1 = f_1(\bar{u}, \bar{v}, \bar{v}_1, \bar{x}); \quad (5)$$

где \bar{x} – вектор, выражающий совокупность всех факторов, не входящих в состав $\bar{u}, \bar{v}, \bar{v}_1$, но влияющих на результат процесса прокатки (в частности, фактические погрешности величин $\bar{u}, \bar{v}, \bar{v}_1$, параметры среды и пр.) f – функция, описывающая зависимость параметров прокатанной полосы \bar{W} от параметров заготовки, режима прокатки и прочих факторов; f_1 – аналогичная функция для \bar{W}_1 .

Соответственно по всем заготовкам

$$\bar{W} = J(\bar{U}, \bar{U}_1, \bar{V}, \bar{V}_1, \bar{X}); \quad (6)$$

$$\bar{W}_1 = J_1(\bar{U}, \bar{U}_1, \bar{V}, \bar{V}_1, \bar{X}); \quad (7)$$

где $\bar{X} = \cup \bar{x}$ объединение \bar{x} по всем заготовкам, прокатываемым в период времени T ; F, F_1 – некоторые функции.

Далее пусть \bar{m} – вектор, выражающий план раскроя одной полосы; \bar{m}_1 – вектор параметров одной раскроенной полосы, т.е. совокупность параметров всех листов, полученных в результате прокатки и раскроя одной заготовки (включая показатели качества, содержащиеся в \bar{W}); \bar{m}_2 – вектор параметров, характеризующих остальные (кроме \bar{m}_1) показатели на выходе процесса прокатки и раскроя одной заготовки.

Аналогично предыдущему, пусть, $\bar{D}, \bar{M}_1, \bar{M}_2$ – объединения $\bar{m}, \bar{m}_1, \bar{m}_2$ по всем заготовкам, обрабатываемым в рассматриваемый период времени T . Тогда

$$\bar{M}_1 = \varphi_1(\bar{w}, \bar{m}, \bar{y}) = \varphi_1[f_1(\bar{u}, \bar{v}, \bar{v}_1, \bar{x}), \bar{m}, \bar{y}]; \quad (8)$$

$$\bar{M}_2 = \varphi_2(\bar{w}, \bar{w}_1, \bar{m}, \bar{y}) = \varphi_2[f(\bar{u}, \bar{v}, \bar{v}_1, \bar{x}), \bar{m}, \bar{y}], \quad (9)$$

где \bar{y} – возмущения, влияющие на процесс раскроя; φ_1, φ_2 – некоторые функции, описывающие преобразование соответствующих параметров в процессе раскроя.

Соответственно по всем заготовкам

$$\bar{M}_1 = \Phi_1(\bar{W}, \bar{D}, \bar{Y}) = \Phi_1[F_1(\bar{U}, \bar{U}_1, \bar{V}, \bar{V}_1, \bar{X}), \bar{D}, \bar{Y}]; \quad (10)$$

$$\bar{M}_2 = \Phi_2(\bar{W}, \bar{W}_1, \bar{D}, \bar{Y}) = \Phi_2[F_1(\bar{U}, \bar{U}_1, \bar{V}, \bar{V}_1, \bar{X}), F_2(\bar{U}, \bar{U}_1, \bar{V}, \bar{V}_1, \bar{X}), \bar{D}, \bar{Y}], \quad (11)$$

где Φ_1, Φ_2 – соответствующие функции.

В принятых выше обозначениях заказы на прокат можно выразить как требования принадлежности вектора \bar{M}_2 некоторой области пространства векторов \bar{M}_1 , а технологические, ресурсные, экономические и прочие ограничения на ведение процесса прокатки и раскроя – как требования принадлежности вектора \bar{M}_2 некоторой области Π соответствующего пространства.

Задача фабрикации состоит в выборе такого значения вектора \bar{U} , чтобы в результате преобразований (6), (7), (10), (11), были получены значения векторов \bar{M}_1, \bar{M}_2 , удовлетворяющие требованиям заказов на прокат

$$\bar{M}_1 \in \Pi_1 \quad (12)$$

при соблюдении ограничений на процесс прокатки, выражаемых требованием

$$\bar{M}_2 \in \Pi_2 \quad (13)$$

и при достижении оптимальных значений некоторого критерия K (скалярного или векторного), зависящего от \bar{M}_1 и \bar{M}_2 а, возможно и от других факторов:

$$\bar{K} = \bar{K}(\bar{M}_1, \bar{M}_2, \bar{U}_1, \dots) \rightarrow opt \quad (14)$$

В приведенной формулировке говорится о выборе лишь значений вектора \bar{U} , который и выражает содержание фабрикуемой заявки на заготовки. Однако в соответствии с (10)-(11) векторы \bar{M}_1 и \bar{M}_2 , для которых при выборе \bar{U} следует обеспечить выполнение

условий (12), (13), а также критерий \bar{K} определяются не только выбором \bar{U} , но и значениями векторов $\bar{U}_1, \bar{V}, \bar{V}_1, \bar{D}, \bar{X}, \bar{Y}$. Следовательно выбор невозможен без информации о перечисленных векторах.

Глобальная задача ИАСУ состоит в оптимизации векторного критерия

$$\bar{K} = \bar{K}(\bar{U}, \bar{V}, \bar{D}, \bar{X}) \rightarrow opt \quad (15)$$

при соблюдении ограничений

$$\bar{M}_1 = \Phi(\bar{U}, \bar{V}, \bar{D}, \bar{X}) \in \Pi_1. \quad (16)$$

Считая, что вектор \bar{X} является случайным, причем на начальном этапе (нагрев), информация о нем ограничивается априорной плотностью распределения $f^{(1)}(\bullet)$. На втором этапе (прокатка) поступившая информация позволяет построить апостериорную плотность распределения $f^2(\bullet)$. На третьем (раскрой) – вектор \bar{X} полностью известен.

Тогда задача, решаемая на первом этапе, состоит в выборе таких значений $\bar{U}, \bar{V}, \bar{D}$, чтобы при любом значении \bar{X} , имеющем не нулевую априорную плотность вероятности, нашлись такие $\bar{V} = \bar{V}(\bar{X})$, $\bar{D} = \bar{D}(\bar{X})$, что при выбранном \bar{U} выполняются ограничения (16).

$$f^{(1)}(\bar{X}) \neq 0 \Rightarrow \exists \bar{V}(\bar{X}), \bar{D}(\bar{X}) : \Phi[\bar{U}, \bar{V}(\bar{X}), \bar{D}(\bar{X}), \bar{X}] \in \Pi_1 \quad (17)$$

Иначе говоря, требуется, чтобы при выбранных значениях вектора \bar{U} – параметров фабрикации – обеспечивалось следующее условие: каким бы впоследствии не оказался вектор \bar{X} , для него можно выбрать такое значение векторов \bar{V}, \bar{D} – параметров нагрева, прокатки и раскроя, чтобы в результате осуществления процесса были выполнены все требования к продукции и ограничения на ход процесса.

Управляющие воздействия для задачи оптимизации режимов нагрева металла и прокатки многочисленны по составу и разнообразны по характеру и времени поступления.

Остановимся на вопросе управления нагревательными печами во взаимосвязи с ходом процесса прокатки. Благодаря применению обратной связи по температуре на выходе из черновой и чистой клетей осуществляется интеграция в единый комплекс процессов нагрева и прокатки металла. При этом модель расчета температуры сляба адаптируется к фактическому темпу прокатки листа.

В заключение отметим, что для создания современной ИАСУ толстолистового прокатного стана необходимы:

Разработка и научное обоснование функциональной и технической структур системы, удовлетворяющих реализации перспективных требований к организационному и технологическому управлению цехом и станом.

Научно обоснованная идентификация объекта управления (цеха, стана), разработка технологических требований к электромеханическому и электронному оборудованию всего комплекса стана.

Разработка математических моделей, выполнение математического и физического моделирования стана.

Обоснование состава и характеристика сенсорного оснащения ИАСУ стана.

Разработка высококачественной проектной документации ИАСУ и, соответствующего системного и прикладного ПО.

Список источников

1. Г.Г.Грабовский Интегрированное управление производством в цехе толстолистового проката // Металлы и литье Украины. – 2000. - № 7,8. – с.51-52
2. В.И.Архангельский, Г.Г.Грабовский, Н.А.Рюмшин Интегрированная АСУ толстолистового прокатного цеха // Автоматизация виробничих процесів. – 1997. - № 1. – с.53-62.
3. В.И.Архангельский, И.Н.Богаенко, Г.Г.Грабовский, Н.А.Рюмшин, Человеко-машинные системы автоматизации. – К.: НВК «КІА», 2000. – 308с.
4. Г.Г.Грабовский, Интегрированное управление толстолистовыми прокатными станами. К.: «Техніка», 2001.
5. Г.Г.Грабовский, Принципы формирования интегрированных АСУ// Автоматизация виробничих процесів. – 2000. № 2 (II). с.45-51.