

УДК.5.015:621.771.23

ББК 32.965,34.621

КОМПЛЕКТ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ И ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ ПОЛОС (СУЭТ)

Генкин А. Л.¹

*(Учреждение Российской академии наук
Институт проблем управления РАН, Москва)*

Разработан программно-алгоритмический комплекс СУЭТ, имитационные модели которого обеспечивают исходную настройку и коррекцию технологической линии «нагрев металла – горячая прокатка полос» в соответствии с энергосберегающими критериями.

Ключевые слова: математическое моделирование, энергосберегающее управление, алгоритм, листопрокатный комплекс.

1. Введение

Одной из наиболее актуальных задач по повышению конкурентоспособности металлургических предприятий является снижение энергоемкости выпускаемой металлопродукции. Горячекатаный лист (один из основных видов продукции металлургического комбината) производится, как правило, в листопрокатных комплексах (ЛПК), включающих печи для нагрева металла и клетки для прокатки полос. Основными энергоносителями в ЛПК «печи – стан» являются топливо (газ) для нагрева металла в печах перед прокаткой и электроэнергия, затрачиваемая на обжатие

¹ Аркадий Львович Генкин, кандидат технических наук, старший научный сотрудник (algenkin@yandex.ru).

металла в прокатных клетях. Снижение расхода энергоносителей может быть обеспечено как модернизацией оборудования нагревательных печей и прокатных клетей, так и совершенствованием методов и систем управления нагревом и прокаткой металла.

В Институте проблем управления РАН на базе математического моделирования технологической линии «нагрев металла – горячая прокатка полос» разработан метод перераспределения энергии между отдельными участками ЛПК «печи – стан» [3, 4]. Метод основан на изменении режима обжатий в черновой группе клетей, обеспечивая, в зависимости от цены энергоносителей, оптимальную для различных производственных ситуаций температуру нагрева сляба и минимизируя тем самым энергозатраты при производстве горячекатаной полосы. Для решения задач энергосбережения применительно к ЛПК «печи – стан» указанный метод был реализован с использованием современных компьютерных и информационных технологий в виде алгоритмического и программного обеспечения СУЭТ (Система Управления Энергосберегающей Технологией) для листовых станов горячей прокатки, использующих слябы, поступающие из нагревательных печей.

Актуальность разработки ПО СУЭТ заключается в возможности выбора с его помощью оптимальных управляющих воздействий, обеспечивающих сокращение издержек производства, как при исходной настройке энергосберегающего управления, так и при ее коррекции в реальном масштабе времени.

2. Технологический объект управления

В качестве объекта управления рассматривается часть технологической линии широкополосного стана горячей прокатки, включающая нагрев и черновую прокатку слябов. Типовой печью на станах горячей прокатки является многозонная методическая печь. Черновая прокатка слябов осуществляется в пяти последовательно расположенных клетях.

В черновой группе клетей осуществляется обжатие металла (раската) от толщины сляба $H_{сл}$ на входе в черновую группу до толщины подката $H_{п}$ на выходе из нее. Температура металла по мере его прокатки на этом участке снижается от температуры выдачи сляба из печи $T_{сл}$ до температуры подката на выходе из черновой группы клетей $T_{п}$. Параметры $H_{сл}$, $H_{п}$, $T_{п}$ и ширина сляба $B_{сл}$ являются заданными значениями, а величина $T_{сл}$ определяется возможностью обеспечения заданных параметров на выходе из черновой группы клетей.

Постановка задачи управления технологической линией «нагрев металла – горячая прокатка полос» заключается в следующем: при заданных параметрах $H_{сл}$, $H_{п}$, $T_{п}$ и $B_{сл}$ найти распределение обжатий металла в клетях черновой группы и температуру $T_{сл}$, обеспечивающие удовлетворение выбранного критерия оптимальности. Область допустимых управлений определена ограничениями на энергосиловые параметры процесса, конструктивными параметрами клетей и самой технологической линии. Управляющим воздействием является изменение режима обжатий в клетях черновой группы.

Критерий оптимальности энергосберегающего управления исходной настройкой ЛПК «печи – стан» представлен в виде

$$Z_{т} + Z_{э} + Z_{ок} \rightarrow \min$$

или в виде минимума отдельных удельных затрат. В формуле $Z_{т}$, $Z_{э}$, $Z_{ок}$ – соответственно, затраты на топливо в нагревательных печах, на электроэнергию в прокатных клетях и на металл, ушедший в окалину при его нагреве в печах.

Коррекция исходной настройки осуществляется в соответствии с критерием минимизации отклонения температуры подката на выходе черновой группы при изменении параметров объекта.

3. Алгоритмы управления ЛПК «печи – стан»

Для реализации ПО СУЭТ разработаны оригинальные алгоритмы исходной настройки системы управления и ее коррекции применительно к ЛПК «печи – стан», полное описание которых

представлено в [3, 4]. Основная суть этих алгоритмов заключается в определении оптимальных обжатий металла и температуры его нагрева в печи в соответствии с выбранным критерием оптимальности и принятыми ограничениями. Основные функции этих алгоритмов перечислены ниже:

1. Алгоритм расчета энергосиловых параметров прокатки при заданных обжатиях. Предназначен для определения энергосиловых параметров прокатки в черновых клетях и температуры нагрева сляба при заданных значениях $H_{сл}$, $H_{п}$, $T_{п}$, $B_{сл}$ и обжатий металла в клетях.

2. Алгоритм оптимизации обжатия металла в клети. Предназначен для расчета обжатия металла в клети, обеспечивающего заданные значения энергосиловых параметров прокатки с учетом принятых ограничений.

3. Алгоритм расчета энергосберегающего режима. Предназначен для расчета температуры нагрева сляба, обжатий и энергосиловых параметров в черновых клетях, обеспечивающих минимальные суммарные затраты на нагрев и прокатку металла при заданных значениях $H_{сл}$, $H_{п}$, $T_{п}$ и $B_{сл}$.

4. Алгоритм расчета топливосберегающего режима. Предназначен для расчета температуры нагрева сляба, обжатий и энергосиловых параметров в черновых клетях, обеспечивающих минимальный расход топлива в печах при заданных значениях $H_{сл}$, $H_{п}$, $T_{п}$ и $B_{сл}$.

5. Алгоритм расчета электросберегающего режима. Предназначен для расчета температуры нагрева сляба, обжатий и энергосиловых параметров в черновых клетях, обеспечивающих минимальный расход электроэнергии на прокатку металла при заданных значениях $H_{сл}$, $H_{п}$, $T_{п}$ и $B_{сл}$.

6. Алгоритм расчета полной загрузки черновой группы. Предназначен для расчета температуры сляба и подката, обжатий и энергосиловых параметров в черновых клетях, обеспечивающих полную загрузку клетей при заданных значениях $H_{сл}$, $H_{п}$ и $B_{сл}$.

7. Алгоритм расчета равномерной загрузки черновой группы. Предназначен для расчета температуры нагрева сляба, обжатий и энергосиловых параметров в черновых клетях, обеспечивающих равномерность загрузки всех клеток при заданных значениях $H_{сл}$, $H_{п}$, $T_{п}$ и $B_{сл}$.

8. Алгоритм расчета режима контролируемой прокатки. Предназначен для расчета температуры сляба и подката, обжатий и энергосиловых параметров в черновых клетях при заданных значениях $H_{сл}$, $H_{п}$, $B_{сл}$, $T_{сл}$ и $T_{п}$.

9. Алгоритм расчета технико-экономических показателей нагрева и прокатки металла. Предназначен для определения значений основных статей расходов по переделу при обработке металла в комплексе «печи – стан горячей прокатки полос». К ним относятся, в первую очередь, затраты на электроэнергию при прокатке металла, затраты на топливо и потери от угара при нагреве металла в печи.

10. Алгоритм коррекции исходной настройки. Предназначен для перераспределения обжатий в черновых клетях при отклонении параметров прокатки от расчетных значений. Алгоритм функционирует в соответствии с принципами, разработанными сотрудниками НПО «Черметавтоматика» и Института проблем управления [1]: черновая группа условно разбивается на ряд областей управления, в каждую из которых входят три клетки: i – измерительная, $(i + 1)$ – регулирующая, $(i + 2)$ – контролирующая. Для первой области i -я клетка – это печь, для последней области $(i + 2)$ -я клетка – последняя клетка черновой группы. Так, например, для пятиклетевой черновой группы можно выделить 4 области управления:

- 1) выход печи (i) – 1-я клетка ($i + 1$) – выход 2-ой клетки ($i + 2$);
- 2) выход 1-ой клетки (i) – 2-я клетка ($i + 1$) – выход 3-ей клетки ($i + 2$);
- 3) выход 2-ой клетки (i) – 3-я клетка ($i + 1$) – выход 4-ой клетки ($i + 2$);
- 4) выход 3-ей клетки (i) – 4-я клетка ($i + 1$) – выход 5-ой клетки ($i + 2$).

Температура металла в клетке определяется косвенным образом на основе измеренного значения мощности (либо усилия) прокатки. Регулирование осуществляется при отклонении измеренной косвенным образом температуры в i -ой клетке от расчетного значения, определенного при исходной настройке. Расчет корректирующего воздействия для нажимного устройства ($i + 1$)-ой клетки с целью изменения толщины раската на ее выходе осуществляется таким образом, чтобы на выходе ($i + 2$)-ой клетки получить минимально возможное отклонение температуры металла от расчетного значения при неизменной (в пределах допуска) толщине раската на выходе этой клетки. Регулирование осуществляется с учетом приведенных выше ограничений, используемых при исходной настройке, а также дополнительных ограничений на величину и скорость перемещения нажимных винтов.

4. Реализация ПО СУЭТ

Для реализации энергосберегающего управления ЛПК «печи – стан» сотрудниками Института проблем управления РАН и ОАО «Черметавтоматика» разработана структурная схема АСУ с оптимизацией режимов прокатки [1, 2]. В основу АСУ положена двухуровневая структура, обеспечивающая управление температурой металла как в режиме прогноза, так и в реальном масштабе времени.

К верхнему уровню относится подсистема оптимизации исходной настройки технологической линии, т. е. определение оптимальных (в смысле минимума энергетических затрат) значений температуры и толщины металла во всех звеньях линии. Основными функциями подсистемы верхнего уровня являются:

- выбор стратегии управления (критерия оптимальности);
- расчет в соответствии с выбранным критерием оптимальности исходной настройки клеток черновой группы, обеспечивающей требуемые температуру и толщину раската на выходе из

черновой группы и температуру слябов на выходе из нагревательных печей;

- адаптивная идентификация параметров прокатки;
- выбор программ настройки черновых клетей;
- расчет исходных данных для локальных систем регулирования в черновых клетях и печах;
- расчет технико-экономических показателей прокатки данного типоразмера;
- коррекция температуры подката.

На нижнем уровне осуществляется коррекция исходной настройки и обработка текущей информации. Основные функции подсистемы нижнего уровня:

- обработка входных сигналов с целью косвенного определения энергетических характеристик прокатки в черновых клетях;
- расчет и реализация коррекции обжатия металла в черновых клетях с целью обеспечения заданной температуры раската на выходе каждой клетки.

В основе имитационных моделей, используемых в ПО СУЭТ, лежат представленные выше алгоритмы управления ЛПК «печи – стан». Структурно ПО СУЭТ построено в соответствии с модульным принципом: каждый модуль реализует один из режимов исходной настройки или ее коррекции. Такое построение облегчает сравнительный анализ того или иного режима прокатки и выбор наиболее приемлемого в различных производственных ситуациях.

Документирование и архивация информации в ПО СУЭТ осуществляется на уровне создания отдельных специализированных файлов для каждого режима исходной настройки и ее коррекции, а также файлов сервисной поддержки. В процессе функционирования ПО создаются файлы исходных и выходных данных, которые могут быть переданы в ЭВМ более высокого уровня. В зависимости от конкретных условий внедрения, в ПО СУЭТ могут быть внесены дополнительные изменения. ПО СУЭТ может использоваться для научных исследований, в

режиме советчика оператора прокатного стана, а также непосредственно в процессе управления механизмами черновых прокатных клетей.

5. Описание работы с программным обеспечением СУЭТ

После запуска ПО СУЭТ в верхней строке экрана располагается горизонтальное меню, каждый пункт которого содержит выпадающие вниз подменю (рис. 1). В свою очередь, из каждого пункта подменю можно вызвать соответствующую программу. Движение по пунктам меню и подменю осуществляется с помощью мыши и клавиш управления курсором.

Режимы исходной настройки	Параметры	Описание	Quit
В соответствии с инструкцией			
Энергосберегающий			
Топливосберегающий			
Электросберегающий			
Полная загрузка клетей			
Равномерная загрузка клетей			
Контролируемая прокатка			
Коррекция исходной настройки			

Рис. 1. Фрагмент экрана при выборе исходной информации

В пункте «Режимы исходной настройки» осуществляется выбор одного из режимов прокатки. В пункте «Параметры» осуществляется ввод исходных технико-экономических параметров процесса (стоимость энергоносителей и т.п.). В пункте «Описание» приводится общее описание ПО СУЭТ и принципов работы с ним. Пункт «Quit» предназначен для выхода, окончания работы с системой.

После выбора соответствующего режима пользователь вводит исходные данные о прокатываемом металле и получает таблицу результатов расчета оптимальных, в соответствии с выбранным критерием, параметров прокатки, а также технико-

экономические показатели процесса. При выборе режима коррекции исходной настройки пользователь имитирует (вводит) отклонение температуры нагрева сляба от заданного значения, определяемого режимом исходной настройки. На экране появляются в графическом виде результаты расчета коррекции толщины раската для соответствующего режима исходной настройки, обеспечивающей минимизацию отклонения температура подката (рис. 2).

КОРРЕКЦИЯ ТОЛЩИНЫ РАСКАТА (электросберегающий режим)



Рис. 2. Фрагмент экрана при имитации коррекции исходной настройки

Экономическая эффективность системы управления широкополосным станом горячей прокатки с использованием ПО СУЭТ определяется, в основном, следующими факторами:

- повышением производительности листопрокатного комплекса и уменьшением угара металла при нагреве слябов в печах благодаря сокращению времени нагрева;
- уменьшением затрат энергии на нагрев и прокатку металла;
- повышением качества готовой продукции благодаря стабилизации температуры подката на выходе из черновой группы клетей.

Конкретное значение технико-экономических показателей зависит, в основном, от конструкции листопрокатного комплекса, объема производства проката, а также затрат на создание системы.

6. Заключение

В настоящее время комплекс СУЭТ используется как прототип тренажера диспетчера ЛПК «печи – стан» для проведения научных исследований и в учебном процессе. ПО СУЭТ может также использоваться непосредственно в процессе управления механизмами черновых прокатных клетей.

Литература

1. БОЖКО Ю. П., БЫЧКОВ Н. П., ДОБРОНРАВОВ Д. Н., МАСАЛЬСКИЙ Я. С., ГЕНКИН А. Л., КУДЕЛИН А. Р. *Устройство регулирования температуры подката для широкополосного стана горячей прокатки* // Авт. свид. СССР №1444003. – Открытия. Изобретения. – 1988. – №46.
2. ГЕНКИН А. Л., ВЛАСОВ С. А., МАСАЛЬСКИЙ Я. С. *Возможности энергосберегающего управления листопрокатным комплексом* // Автоматизация в промышленности. – 2003. – №3. – С. 44-47.
3. ГЕНКИН А. Л., КУДЕЛИН А. Р. *Проблемы энергосберегающего управления листопрокатным комплексом. Ч. I* // Проблемы управления. – 2006. – №6. – С. 51-54.

4. ГЕНКИН А. Л., КУДЕЛИН А. Р. *Проблемы энергосберегающего управления листопрокатным комплексом. Ч. II // Проблемы управления.* – 2007. – №1. – С. 51-57.

PACKAGE OF ALGORITHMIC AND SOFTWARE MODULES FOR SYSTEM USED IN ENERGY-SAVING TECHNOLOGY (SUET) AT HOT STRIP ROLLING

Arkady Genkin, Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc., Senior Researcher (algenkin@yandex.ru).

Abstract: The software and algorithmic complex SUET is developed. Its simulation models support initial setup and tuning of “reheat metal – hot strip rolling” line basing on the energy-saving criteria.

Keywords: mathematical modeling, energy-saving control, algorithm, hot strip rolling complex.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии Н.Н. Бахтадзе.