

Применение имитационного моделирования в системе управления листопрокатным комплексом

А.Л. Генкин, И.В. Никулина

Аннотация. На примере листопрокатного комплекса «печи-стан» приведены результаты имитационного моделирования для разработки алгоритмов и систем управления, обеспечивающих повышение производительности стана и сокращение энергозатрат на нагрев и прокатку металла

Ключевые слова: имитационное моделирование, оптимизация, алгоритмы, системы, энергосберегающее управление.

Введение

Практика разработки систем управления сложными производственными объектами предполагает широкое использование методов имитационного моделирования. В Институте проблем управления РАН при разработке интегрированных АСУТП металлургического производства разработаны [1] имитационные модели, ориентированные на решение задач анализа и синтеза вариантов автоматизированных технологических комплексов современного металлургического производства. Средством разработки интегрированных систем управления являются человеко-машинные процедуры моделирования на ЭВМ, ориентированные на конкретный класс объектов и насыщенные необходимыми для этого класса объектов моделями агрегатов, моделями взаимосвязей их совместной работы, моделями действия систем управления и др. Иными словами, методом решения являются проблемно-ориентированные человеко-машинные процедуры моделирования.

Технологические особенности управления комплексом

В качестве примера разработки интегрированной АСУТП рассмотрим листопрокатный комплекс (ЛПК) «печи – стан». Многомерность

и многосвязность объекта, наличие ограничений на изменение параметров процесса и управляющих воздействий затрудняют его исследование с помощью аналитических методов теории управления. В то же время для сложных объектов данного типа представляется возможным использование процедур имитационного моделирования для воспроизведения логики функционирования объекта и разработки системы управления им.

По функциональному признаку технологическая линия «нагрев слэбов – горячая прокатка полос» может быть разделена на отдельные участки обработки металла, а система управления ЛПК «печи – стан» – на отдельные подсистемы управления ими. Для согласованного функционирования отдельных подсистем необходимо установить возможные варианты реализации управления этими подсистемами, связь между ними и выбрать структуру системы управления, отвечающую требованиям максимальной эффективности.

Рассматривая листопрокатный комплекс как объект управления организационно-технологическими системами, можно выделить основные участки обработки металла в технологической линии «нагрев слэбов – горячая прокатка полос»: нагревательные печи; черновая группа клетей; промежуточный рольганг; чистовая

группа клетей. Параметрами, координирующими функционирование этих участков, являются температура и толщина металла на входе и выходе каждого участка. Оптимальное управление технологической линией «нагрев слэбов – горячая прокатка полос» подразумевает управление температурно-деформационным режимом обработки металла с заданными значениями геометрических параметров полосы и ее температуры на выходе из стана.

Применительно к листопрокатному комплексу «печи – стан» имеют место две проблемы дальнейшего повышения эффективности производства:

- недостаточное использование скоростных возможностей стана при обеспечении высокого качества проката;
- высокая энергоемкость листопрокатного комплекса.

Для устранения отмеченных проблем в ОАО «Черметавтоматика» и Институте проблем управления РАН совместно со специалистами других организаций России были разработаны новые методы, расширяющие применение алгоритмических и программных средств информационных технологий для решения актуальных, на наш взгляд, задач управления процессом горячей прокатки полос. С учетом пропускной способности различных участков технологической линии было предложено повышать скорость прокатки в чистовой группе клетей, а возникающее при этом повышение температуры металла на выходе из стана компенсировать принудительным охлаждением полосы в межклетевых промежутках чистовой группы. Снижение энергоемкости листопрокатного комплекса предложили обеспечивать перераспределением потребных энергоресурсов (топлива в печах для нагрева металла перед прокаткой или электроэнергии для обжата металла в прокатных клетях) в зависимости от стоимости энергоносителей и конкретных условий прокатки.

Процесс управления технологической линией «нагрев слэбов – горячая прокатка полос» может быть разделен на две стадии: исходную настройку ЛПК «печи – стан» и ее коррекцию. Исходная настройка должна обеспечить некоторый оптимальный в определенном смысле

режим прокатки, а ее параметры определяются заранее. Коррекция исходной настройки, осуществляемая на основе получаемой в процессе прокатки информации, должна обеспечить поддержание оптимального режима прокатки при отклонении параметров процесса от расчетных значений. На основе данной концепции разрабатываются математические модели новых технологических процессов, затем с использованием этих моделей разрабатываются методы и алгоритмы оптимального управления этими процессами в соответствии с выбранным критерием оптимальности и далее синтезируется структура системы для реализации непосредственно оптимального управления.

Имитационное моделирование технологического процесса нагрева и прокатки полос

С учетом изложенного разработаны имитационные модели соответствующих подсистем управления листопрокатным комплексом. На основе результатов имитационного моделирования режимов прокатки в чистовой группе клетей разработаны принципы исходной настройки устройств принудительного межклетевого охлаждения в соответствии с критерием эффективности производства I , использование которого позволяет максимально улучшить качество произведенной продукции, определяющее ее цену, и уменьшить расходы цеха на производство:

$$I = f(I_1, I_2, I_3). \quad (1)$$

Величина I_1 определяет качество управления, то есть характеризует среднее отклонение температуры от заданного значения на единицу длины полосы. Величины I_2 и I_3 определяют эффективность управления; при этом I_2 – среднечасовой расход воды при принудительном охлаждении, I_3 – среднечасовая производительность чистовой группы стана.

Оптимизация температурно-скоростного режима прокатки с принудительным охлаждением достигается путем выбора управляющего воздействия, обеспечивающего минимум функционала (1) при ограничениях на температурно-скоростные параметры прокатки и максимально возможный расход охлаждающей воды.

Для реализации оптимального управления принудительным охлаждением найдены структура и численные значения коэффициентов прогнозирующей математической модели, позволяющей определять условия охлаждения металла на различных участках полосы при различных температурно-скоростных режимах прокатки [2]. Предложены методы и разработаны алгоритмы коррекции исходной настройки устройств принудительного охлаждения в процессе прокатки на основе информации о фактическом распределении температуры конца прокатки по длине полосы (адаптивная настройка прогнозирующей математической модели), а также на основе информации об усилиях прокатки в чистовых клетях (ограничительная коррекция расхода воды в отдельных межклетевых промежутках).

Разработаны также имитационные модели подсистем управления нагревом металла в печах и прокаткой в черновой группе клетей листопрокатного комплекса. Метод решения задач ресурсо- и энергосбережения разработан в соответствии с критерием минимальных суммарных удельных (на единицу массы металла) затрат на нагрев и прокатку металла. Основными затратами, учитываемыми в целевой функции, приняты затраты на топливо при нагреве металла в печах Z_r , на электроэнергию при прокатке металла в клетях Z_s , потери металла, ушедшего в окалину при нагреве Z_o :

$$Z = Z_r + Z_s + Z_o. \quad (2)$$

Предложена классификация энергосберегающих режимов исходной настройки клетей по цели управления, сформулированы соответствующие целевые функции и дополнительные условия [3]. Определены границы возможных управлений для различных режимов исходной настройки ЛПК. Оптимальное управление реализуется посредством выбора режима обжаты металла в черновых клетях, обеспечивающего минимизацию выбранной целевой функции (2) с учетом имеющихся ограничений на параметры процесса и управляющие воздействия. Коррекцию исходной настройки в реальном масштабе времени при отклонении параметров процесса от регламентированного значения предложено осуществлять путем перераспределения обжаты в отдельных клетях на основе

косвенного определения температуры металла по измеренным энергосиловым параметрам прокатки.

Системы оптимального управления листопрокатным комплексом «печи – стан»

Разработанные на базе имитационного моделирования алгоритмы управления легли в основу построения систем управления параметрами прокатки.

На базе результатов выполненных исследований разработана структура системы управления установками принудительного межклетевого охлаждения полос в широкополосном стане (Рис. 1), предусматривающая управляющую (блоки 1-3) и исполнительную (6-8) части, датчики в стане (9-15), комплекс ввода исходных данных (блок 4).

При работе в автоматическом режиме система осуществляет управление работой запорных устройств 5, 6 и отсечных клапанов 7, используя информацию от датчиков 9-15. Указанная информация, а также информация о параметрах прокатываемой полосы (блок исходных данных 4) поступают в вычислительный блок 1, который управляет работой распределительного блока 3, непосредственно осуществляющего изменение расхода воды в соответствующих межклетевых промежутках. Коррекция расхода воды в отдельных межклетевых промежутках и адаптивная настройка прогнозирующей математической модели осуществляются в вычислительном блоке на основе результатов обработки информации от соответствующих датчиков. Система производит исходную настройку устройств принудительного охлаждения, адаптивную настройку прогнозирующей математической модели и ограничительную коррекцию расхода воды в отдельных межклетевых промежутках в соответствии с принципами и алгоритмами, изложенными в [2]. Применение принудительного межклетевого охлаждения при прокатке в чистовой группе позволяет повысить ее производительность, в зависимости от прокатываемого сортамента, до 25%.

Для реализации энергосберегающего управления ЛПК «печи – стан» разработана структур-

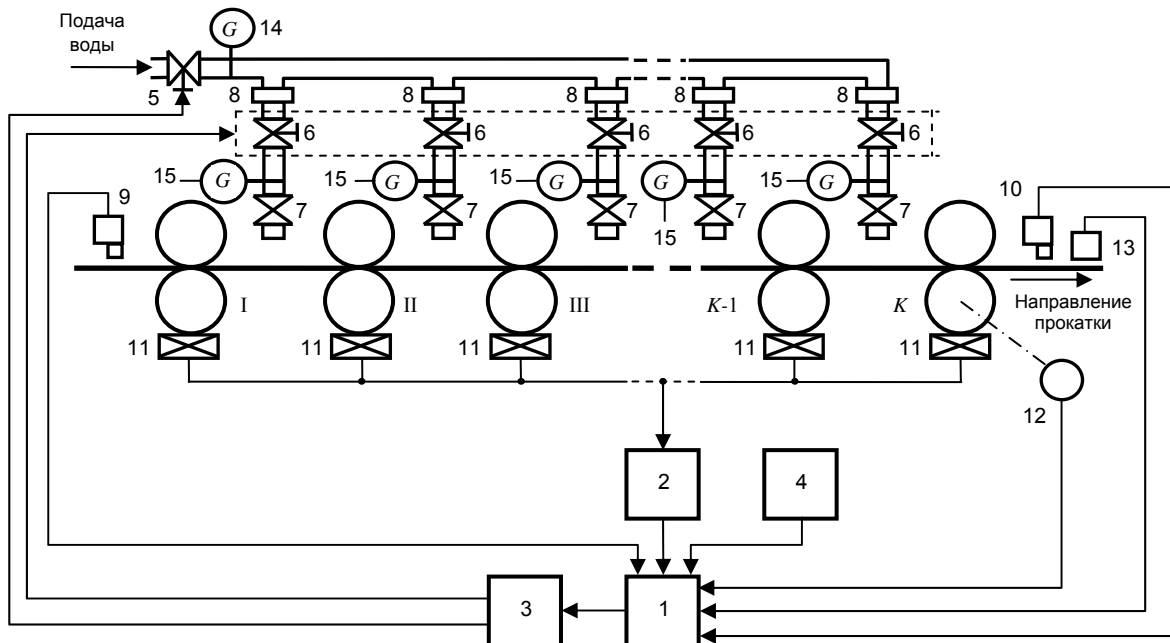


Рис. 1. Структура системы управления принудительным охлаждением полосы в чистовой группе

I-K – клетки чистовой группы, 1 – вычислительный блок, 2 – ограничительный блок, 3 – распределительный блок, 4 – блок ввода исходных данных, 5 – общее запорное устройство, 6 – запорные устройства в каждой установке принудительного охлаждения, 7 – отсекающие клапаны, 8 – регуляторы давления, 9 – измеритель температуры подката, 10 – измеритель температуры конца прокатки, 11 – измеритель усилия прокатки, 12 – измеритель скорости прокатки в последней клетке, 13 – измеритель длины полосы, 14 – измеритель общего расхода воды, 15 – измеритель общего расхода воды в каждом межклетевом промежутке

ная схема АСУ с оптимизацией режимов прокатки, в основу которой положена двухуровневая структура, обеспечивающая управление температурой металла как в режиме прогноза, так и в реальном масштабе времени (Рис.2).

Система может функционировать в информационно-советующем, автоматическом режимах и в режиме централизованного дистанционного управления нажимными устройствами прокатных клеток. Разработанная система основана на разработанной в [4] концепции энергосберегающего управления.

К верхнему уровню относится подсистема оптимизации исходной настройки технологической линии, обеспечивающая 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 клеток;
- 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.

Эффективность энергосберегающего управления ЛПК «печи – стан» с точки зрения снижения суммарных удельных затрат на нагрев и прокатку металла составляет в зависимости от конструкции ЛПК от 5 до 25% [5].

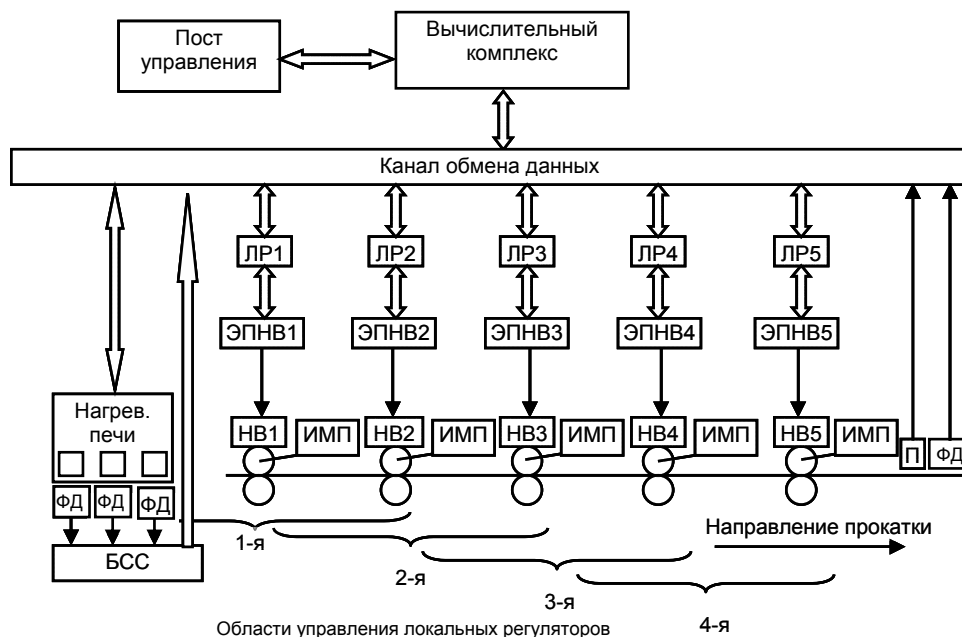


Рис. 2. Структурная схема АСУ с оптимизацией режимов прокатки

ЭПНВ – электропривод нажимных винтов, ЛР – локальный регулятор, НВ – нажимные винты, БСС – блок слежения за продвижением сляба, ФД – фотодатчик наличия металла, П – пирометр, ИМП – измеритель мощности прокатки

Заключение

Применение имитационного моделирования при разработке систем управления листопркатным комплексом «печи – стан» позволяет существенно повысить качество управления и, соответственно, эффективность разработок. Конкретное значение технико-экономических показателей зависит, в основном, от конструкции листопркатного комплекса, объема производства проката, а также затрат на создание системы.

Литература

1. Власов С. А., Генкин А. Л., Никулина И. В., Кравцов С.В. Интеграция систем управления в металлургическом производстве // Автоматизация в промышленности. 2007. № 3. С. 12-14.

2. Генкин А.Л., Власов С.А., Никулина И.В. Оптимизация принудительного межклетевого охлаждения в чистовой группе клетей на основе имитационного моделирования горячей прокатки полос // Автоматизация в промышленности: Материалы 3-ей научной конференции. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова, 2009. С. 265-270.
3. Генкин А.Л. Энергосберегающее управление современным листопркатным производством // Производство проката. 2008. № 7. С. 38-43.
4. Генкин А.Л. Принципы построения энергосберегающих систем управления листовыми станами горячей прокатки // Труды Института проблем управления РАН. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 1998. Т. 1. С. 40-47.
5. Генкин А.Л., Власов С.А., Масальский Я.С. Возможности энергосберегающего управления листопркатным комплексом // Автоматизация в промышленности. 2003. № 3. С. 44-47.

Генкин Аркадий Львович. Старший научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. Окончил Днепропетровский металлургический институт в 1971 году. Доктор технических наук, старший научный сотрудник. Автор 93-х печатных работ, в том числе 1 монография и 3 авторских свидетельства СССР на изобретения. Область научных интересов – разработка моделей, методов и систем управления металлургическими объектами. E-mail: genfone@ipu.ru.

Никулина Ирина Владимировна. Научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. Окончила Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова в 1968 году. Автор 17 печатных работ. Область научных интересов – разработка моделей, методов и систем управления металлургическими объектами. E-mail: nikfone@ipu.ru.