

Р.Н. Хрестин

ДУГОВАЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНАЯ ПЕЧЬ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Проанализировано поведение полной модели дуговой сталеплавильной печи в качестве объекта управления. Сформулированы идеальные условия процесса плавки и возможные отклонения от них реального процесса. Проведен анализ поведения этой модели при условиях идеальных и приближенных к реальному процессу. Модель может быть использована для построения моделей привода перемещения электродов и создания системы автоматического управления этим приводом. В свою очередь, моделирование режимов привода перемещения электродов позволяет моделировать режимы плавки печи. Таким образом, предложенная модель позволяет адекватно оценить возможности управления всеми процессами печи. Построена модель системы управления, основанная на простейшем автоматическом ПИ-регуляторе. Анализ полученной системы управления показал, что использование простейшего регулятора не обеспечивает качественного управления. Поэтому требуется разработка более совершенного регулятора.

Ключевые слова: ток дуги, параметры плавки, привод перемещения электрода, алгоритм управления, автоматический регулятор.

Постановка проблемы. Обеспечить максимально возможные скорость и точность протекания основных процессов дуговой сталеплавильной печи (ДСП) возможно за счет автоматического регулирования параметров процесса плавки. Регулировка осуществляется с помощью изменения расстояния между электродом и шихтой (длины электрической дуги). Вследствие изменения длины меняется величина тока дуги, от которой зависят основные параметры плавки. Разработка качественных алгоритмов управления током дуги и другими параметрами плавильного процесса (прежде всего, в энергетический период плавки) является перспективной задачей.

Анализ исследований и публикаций. В качестве электрооборудования, управляющего режимом действия ДСП, используют привод

перемещения электродов [1]. Управление должно осуществляться таким образом, чтобы действие привода не только обеспечивало качественный технологический процесс и наименьшие затраты энергии при его протекании. Необходимо также обеспечение безаварийного действия оборудования ДСП и минимальных затрат материальных ресурсов. Последнее, прежде всего, касается исключения ситуаций слома и скалывания электродов, так как расход материала электрода составляет, по меньшей мере, 10% стоимости полученной стали. При этом аварийные расходы, которых можно избежать, составляют 10-20% от общих расходов электродов [2].

Цель работы. Целью данной работы является анализ возможностей построения алгоритмов управления режимами плавки ДСП в условиях, приближенных к реальным режимам работы. Анализ проводится с помощью полной математической модели ДСП – об (рис.1). Такие алгоритмы должна реализовывать модель автоматического регулятора привода перемещения электродов.

Основная часть. Контроль режима плавки осуществляется не только по энергетическим параметрам процесса. Обеспечивается также контроль параметров привода перемещения электродов (скорость перемещения электрода V_h и длина дугового промежутка d) и параметров дуги (постоянная времени дуги $2t_0$, температура T_d и ток дуги i_d). Именно по току дуги можно регулировать режим ДСП, поскольку точное определение непосредственных параметров плавки (температура T_h и энергия шихты Q_h) является сложным, а иногда и невозможным. В работах [3,4] приведены результаты модельных экспериментов отдельных частей полной модели ДСП. При проведении модельных экспериментов с полной моделью ДСП принимаем исходные допущения, которые назовем идеальными условиями плавки.

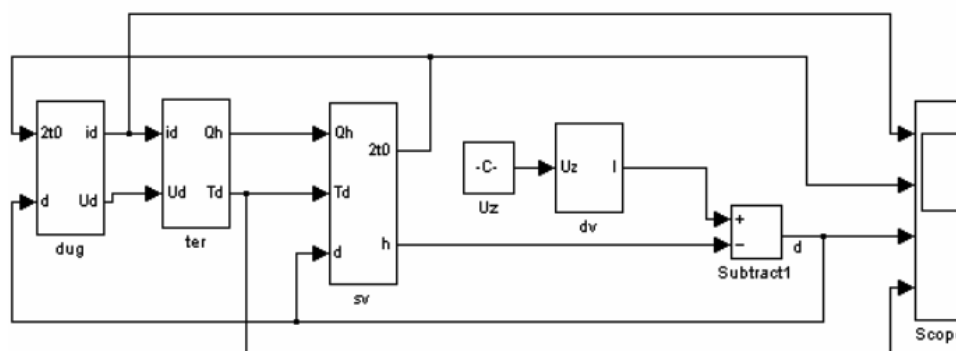


Рисунок 1 - Блок-схема полной модели ДСП – объекта управления(об)

Идеальными условиями плавки считаются следующие: завалка шихты абсолютно однородна, режим действия привода перемещения электродов не испытывает случайных изменений; химический состав дугового промежутка неизменен в течение всего рассматриваемого периода плавки и т. п. При использовании в модельных экспериментах полной модели ДСП (об) подбирается неизменное значение напряжения питания якоря двигателя U_z (моделируется идеальное действие привода перемещения электрода при идеальных условиях плавки). Это напряжение определяет скорость перемещения электрода, равную скорости проплавления шихты под ним. В этом случае длина дуги $d=15$ мм остается неизменной (рис.2а) в течение всего рассматриваемого периода плавки. Это идеальный режим плавки: ток дуги i_d (рис.2б), температура дуги T_d (рис.2в) и постоянная времени дуги $2t_0$ (рис.2г) изменяются в номинальных пределах, а их динамика соответствует изменениям, которые имеют место при идеальных условиях плавки. При моделировании одиночного скачка длины дуги d и ее дальнейшего восстановления (моделируется идеальная реакция регулятора привода перемещения электрода на изменение длины дуги, которое происходит в результате неоднородной завалки шихты) режим плавки полностью восстанавливается (рис.3). Такой режим плавки назовем номинальным.

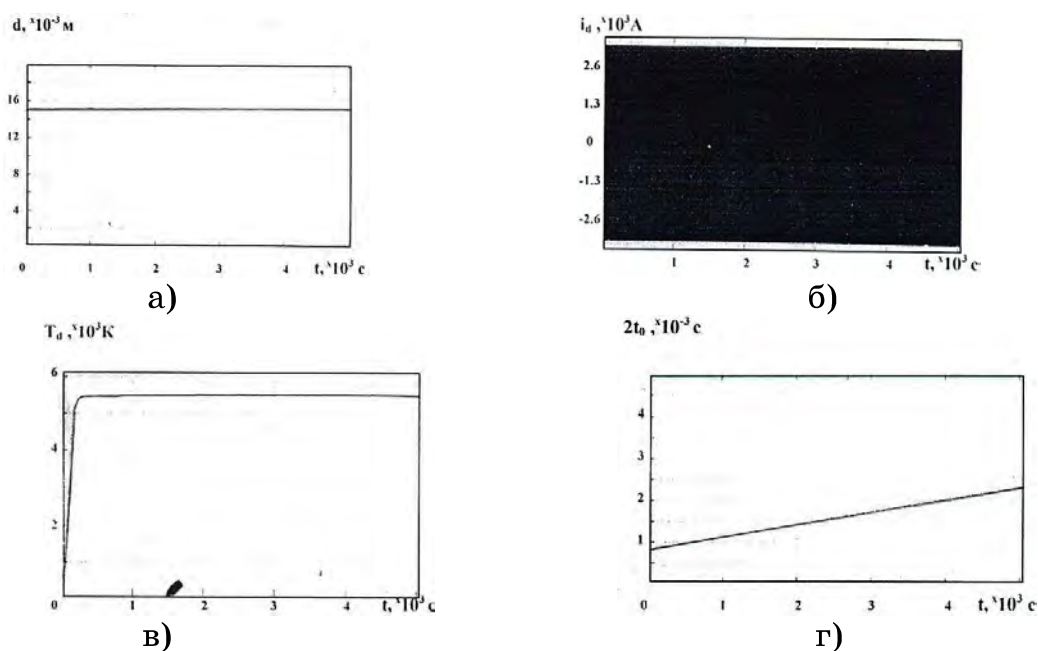


Рисунок 2 - Осцилограммы действия модели при идеальных условиях плавки: а – длина дуги d , б – ток дуги i_d , в – температура дуги T_d , г – постоянная времени дуги $2t_0$

Однако, на практике, в энергетический период плавки длина дуги может изменяться скачкообразно и это происходит через каждые 15-20 секунд[5]. Это негативно влияет на прочность электрода, уменьшая срок его эксплуатации. С целью исключения подобных негативных явлений была предпринята попытка использовать простейший пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор привода перемещения электродов для управления ДСП. Модель предложенной системы управления показана на рисунке 4. Модельные эксперименты показали, что, даже при тщательном подборе параметров простейшего регулятора, не обеспечивается даже приближенный к номинальному режим плавки.

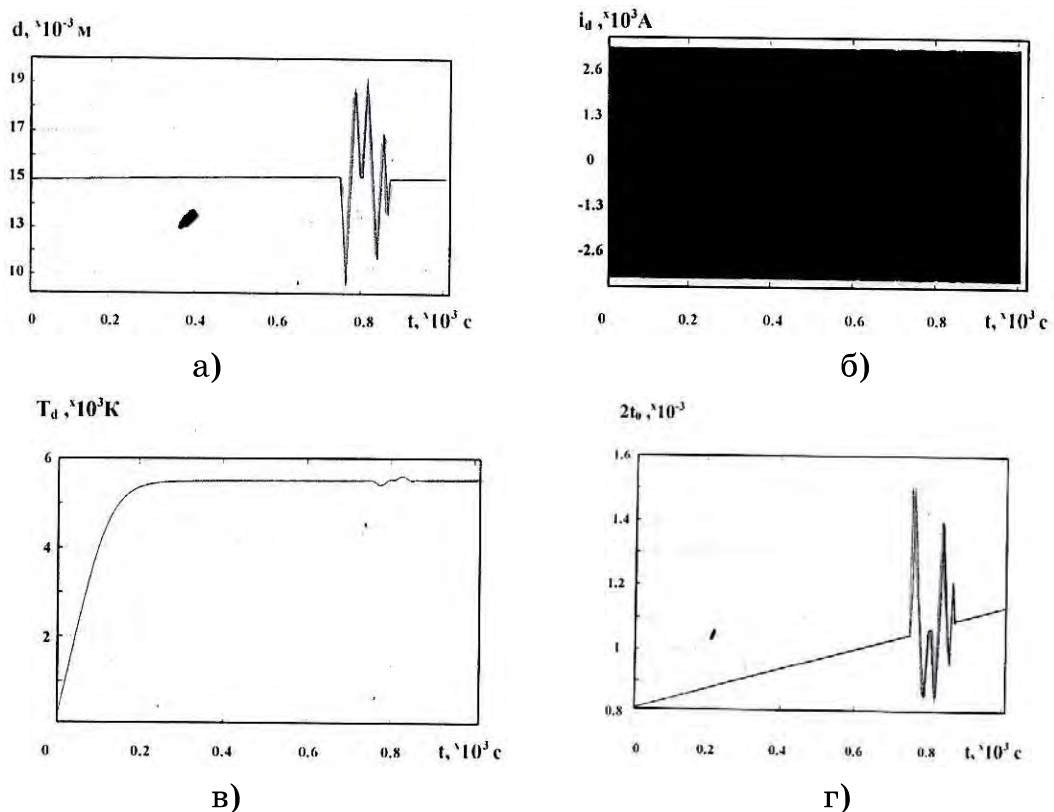


Рисунок 3 - Осциллограммы действия модели при номинальных условиях плавки: а – длина дуги d , б – ток дуги i_d , в – температура дуги T_d , г – постоянная времени дуги $2t_0$

Так, длина дуги испытывает значительные колебания в течение всего рассматриваемого периода плавки и не стабилизируется (рис.5а). Как следствие, значительно колеблются температура и со-

став(описывается постоянной времени дуги) дуги (рис.5в,г), ток дуги (рис.5б).

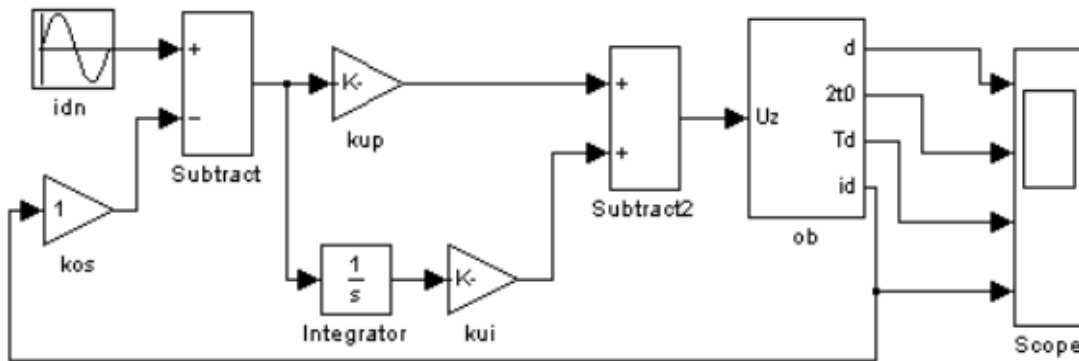


Рисунок 4 - Блок-схема системы управления с простейшим ПИ-регулятором

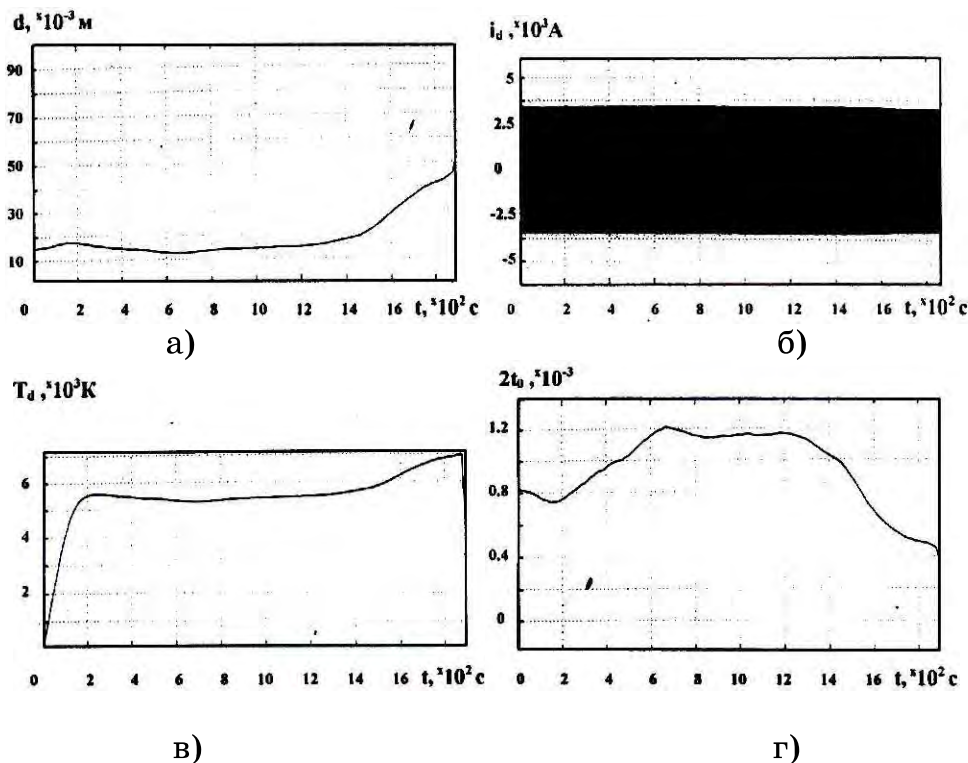


Рисунок 5 - Осциллограммы действия системы управления:
 а – длина дуги d , б – ток дуги i_d ,
 в – температура дуги T_d , г – постоянная времени дуги $2t_0$

Как следствие, имеют место колебания всех зависящих от них параметров плавки. Таким образом, очевидна необходимость построения автоматического регулятора, который реализовал бы более совершенный алгоритм управления приводом перемещения электрода ДСП.

Выводы. Описаны идеальные условия плавки и отклонения от них, которые имеют место при работе реальных ДСП. Описание сделано на основе экспериментов с печью ДСП-5М, действующей в условиях ООО «ПНЦ НПО Трубосталь». Проанализированы режимы действия полной модели ДСП при идеальных условиях плавки и при нарушениях режима, соответствующих реальным условиям плавки. Приведены осциллограммы, которые показывают характер изменений контролируемых параметров модели, соответствующих номинальному режиму плавки. Модельный эксперимент показал адекватность полной модели ДСП.

Построена блок-схема модели системы управления ДСП на базе простейшего ПИ-регулятора. С помощью построенной блок-схемы проанализирован характер изменения параметров, по которым контролируется и регулируется процесс плавки ДСП: длины дугового промежутка, постоянной времени дуги, температуры и тока дуги. Характер изменений этих параметров, даже при идеальных условиях плавки, показал невозможность использования простых автоматических регуляторов, учитывая разнообразие характеров регулируемых процессов и сложность взаимных влияний между этими процессами. Этот результат указывает на необходимость продолжения работ в направлении синтеза более совершенных алгоритмов управления. Такие алгоритмы управления приводом перемещения электрода, должны обеспечивать предупреждения аварийных режимов (и близких к ним) и, за счет этого, уменьшать затраты электрода и сокращать время аварийных простоев ДСП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мاستрюков Б.С. Расчеты металлургических печей – М.: Металлургия, 1986. – 376 с.
2. Егоров А.В. Электроплавильные печи черной металлургии. – М.: Металлургия, 1985. – 280 с.
3. Хрестін Р.М. Моделювання електричних параметрів дуги дугової сталеплавильної печі// Електротехніка і електромеханіка. – 2015. – № 4. – С. 40-43.
4. Хрестін Р.М. Розроблення структури математичної моделі енергетичного балансу дугової сталеплавильної печі // Технічні науки та технології. – 2015. – № 1. – С. 37-43.
5. Салтыков А.В. Автокорреляционные функции тока дуговой сталеплавильной печи на технологических этапах// Электротехника. – 2008. – № 8. – С. 50-52.