

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА ШИХТЫ

**В. В. Бордиян**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель В. А. Жаранов

Шихтовые материалы и подготовка шихты к плавке – важные составляющие технологии плавки. Техничко-экономические расчеты показывают, что себестоимость жидкого чугуна при плавке в индукционных тигельных печах оказывается ниже ваграночного только при использовании в ИЧТ дешевой шихты, состоящей из стального, чугунного лома и самых дешевых из металлоотходов – стружки, высечки и отходов листовой штамповки.

Способ подготовки шихты к плавке зависит от вида шихты и определяется в первую очередь соображениями техники безопасности. На поверхности шихты не должно быть влаги, льда, масел и эмульсии. Поэтому в настоящее время считается, что шихта должна быть нагрета не менее чем до 500–600 °С, что обеспечивает удаление всех видов влаги, и, кроме того, при этой температуре гарантированно воспламеняются и сгорают масла.

Кроме устранения выбросов металла подогрев шихты позволяет сократить расход электроэнергии на плавку и увеличить производительность печи. Подогрев кусковой шихты осуществляется в специальных нагревательных бадьях с газовыми горелками.

Предварительный нагрев шихты (рис. 1) для электроплавильных печей является сложным физико-химическим процессом. Его эффективное протекание зависит от множества факторов, таких как параметры теплоносителя, формы, размеров и начальных теплофизических свойств нагреваемого материала.



Рис. 1. Предварительный подогрев шихты в автономной установке

В настоящее время накоплен огромный опыт в исследовании механизма внутреннего и внешнего теплопереноса для широкого спектра материалов, а также построено большое количество математических моделей, описывающих данные процессы. Несмотря на значительные успехи, достигнутые в математическом моделировании тепло- и массообмена для канонических тел, перенос этих результатов на расчет процессов в промышленных аппаратах в целом осуществляется на основе простейших моделей.

Попытки построить модель на основе точных аналитических решений уравнения теплопроводности с учетом внешнего тепло- и массообмена и распределенных внутренних источников теплоты обычно требуют значительного упрощения, что в конечном итоге выхолащивает физический смысл задачи. Наряду с этим существующие модели не учитывают такие особенности, как стохастическое движение материала в аппарате. В связи с этим большинство тепло- и массообменных аппаратов (сушилки, печи и др.) рассчитывают по интегральному балансу тепла и влаги через напряжение объема. Это, естественно, существенно снижает универсальность предлагаемых моделей и алгоритмов расчета.

Еще одной из причин снижения универсальности предлагаемых моделей связано с переменной качественными характеристиками исходного сырья (начальная влажность, концентрация реагирующих компонентов, наличие примесей, удельный вес и др.), что значительно влияет на эффективность предварительного подогрева. В связи с этим требуется внесение дополнительных изменений в режимные параметры ведения процесса.

Определение рациональных режимов термообработки дисперсных материалов, удовлетворяющих технологическому регламенту процесса, требует знания кинетики нагрева, удаления влаги и протекания экзо- и эндотермических химических реакций. Проведение же экспериментальных исследований в производственных условиях сопряжено с остановкой производственной линии и как следствие, дополнительными финансовыми расходами. Наряду с этим в большинстве случаев отсутствует техническая возможность вести измерение параметров обрабатываемого материала по ходу процесса термообработки.

В связи с обозначенными выше проблемами видится целесообразным использование новых подходов к определению режимных параметров процессов подогрева шихты.

В настоящее время хорошо зарекомендовал себя математический аппарат, основанный на теории нейронных сетей, который не требует практически никаких ограничений на схематизацию процесса. Данный подход эффективно используется для управления сложными нелинейными объектами, аппроксимации функций при решении многочисленных инженерных и научных задач моделирования, при решении оптимизационных задач и др.

Нейронные сети – это исключительно мощный метод имитации процессов и явлений, позволяющий произвести чрезвычайно сложные зависимости. Одним из достоинств нейронных сетей является то, что они по своей природе нелинейные и к тому же во многих случаях позволяют преодолеть «проклятие размерности». Необходимо отметить и еще одну важную особенность нейронных сетей связанную с тем, что они используют механизм обучения, что позволяет в автоматическом режиме настраивать параметры сети. Отмеченное последнее достоинство очень важно с точки зрения построения и практического использования нейронных сетей в производстве.

Использование аппарата теории нейронных сетей на практике в промышленных теплообменных аппаратах (рис. 2, 3) видится перспективным, поскольку он может быть использован для поиска оптимальных режимов нагрева, при которых нейросеть способна рассчитать такое управляющее воздействие (например, температуру горячих дымовых газов) на различных участках промышленного аппарата при котором кинетика нагрева материала будет осуществляться по желаемой траектории.

Наряду с поиском оптимальной траектории термообработки материала использование нейросетей позволяет повысить универсальность используемого математического и программного обеспечения для расчета режимных параметров процесса.

Это связано с тем, что используемые на практике математические модели имеют существенные ограничения по типу обрабатываемых материалов и способу подвода теплоносителя к материалу. Даже не столь существенные изменения геометрических размеров (например, толщины листового материала или среднего диаметра частиц сыпучего материала) и начальных теплофизических параметров материала оказывают значительное влияние как на механизм внутреннего, так и внешнего теплопереноса. Используемые на практике модели не могут учесть эти моменты, так как их разработка велась для определенно заданных начальных и граничных условий проведения процесса. Это приводит к неадекватному расчету процесса и, как следствие, к браку и избыточному использованию энергоресурсов.

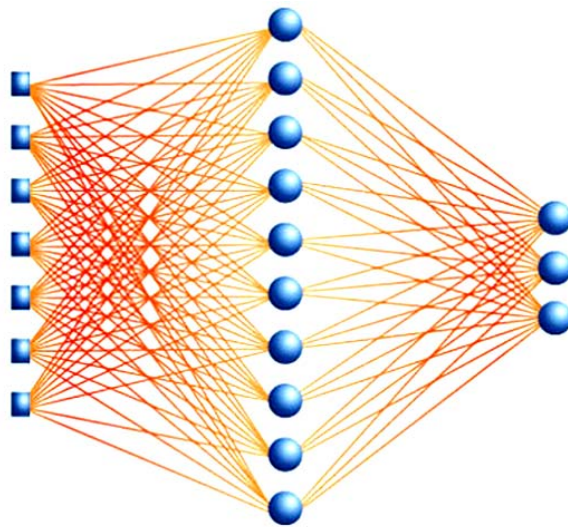


Рис. 2. Архитектура использованной нейронной сети

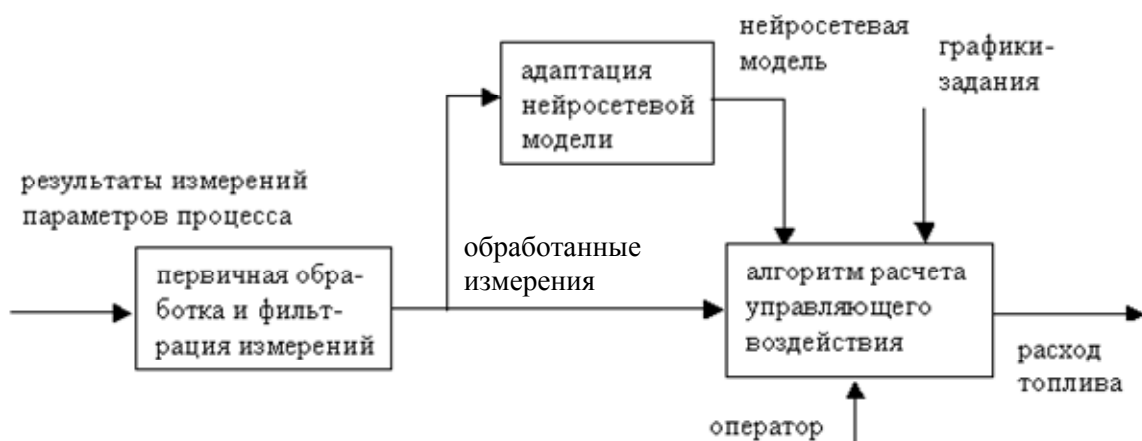


Рис. 3. Функциональная схема управления нагревом шихты

На практике используемое программное обеспечение для расчета параметров процесса нагрева шихты требует ввода значительного количества исходных данных о материале, теплоносителе и условиях осуществления процесса. При использовании

## **122 Секция II. Материаловедение и технология обработки материалов**

нейронных сетей можно ограничиться только наиболее важными параметрами, которые могут быть получены в лабораторных условиях предприятия и даже при этом можно получить качественно обученную нейронную сеть, позволяющую определять рациональные режимные параметры. В этом и есть основная особенность нейронных сетей, а именно обучаться и выявлять скрытые закономерности между потоками входных и выходных данных.

Таким образом, видится целесообразным использование аппарата теории нейронных сетей в области математического моделирования процессов термообработки материалов с различными геометрическими и теплофизическими параметрами, а также при различных способах подвода теплоносителя.

В результате решения задачи построения регрессионной модели расчета продолжительности нагрева с целью достижения заданной средней температуры была получена трехслойная модель (рис. 2), позволяющая с высокой точностью (погрешность по тестовым наборам данных не более 10 %) оценивать технологические аспекты предварительной термообработки материала перед плавкой в электрических печах.