

УДК 621.771.06: 621.892

Амиров Р.Н., Дёма Р.Р., Лукьянов С.И., Ярославцев А.В., Мартынова У.Д.

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ КЛЕТЕЙ ЧИСТОВОЙ ГРУППЫ НШСГП 2000 ОАО «ММК»

В данной работе представлены применения нейросетевых технологий для прогнозирования энергосиловых параметров процесса горячей прокатки, благодаря процессу корректировки весов модели позволяет существенно снизить ошибку прогноза. Полученные нейронные модели для прогнозирования силы тока на клетях № 7–12 чистовой группы позволят аналитически исследовать оптимальный с точки зрения энергоэффективности режим прокатки при варьировании основных параметров.

**Ключевые слова:** горячая прокатка, энергоэффективность, нейросетевая модель, инструмент, рабочий валок.

This paper presents the application of neural network technology to predict the energy-power parameters of the hot rolling process by adjusting the weights model, can significantly reduce the forecast error. The resulting neural model for predicting the current strength in the crates number 7–12 crates finishing will study analytically the optimum from the standpoint of energy efficiency regime of rolling, by varying key parameters.

**Key words:** hot rolling, energy efficiency, neural network model, a tool, a working cylinder.

Наиболее востребованной продукцией ОАО «ММК», безусловно, является горячекатаная сталь. Для поддержания лидирующей позиции среди предприятий черной металлургии и конкурентоспособности продукции ОАО «ММК» необходимо, с одной стороны, обеспечить высокое качество проката и увеличивать производительность станов, а с другой стороны, добиться снижения себестоимости выпускаемой продукции.

Прогрессивным способом повышения эффективности горячей прокатки является применение технологической смазки. Смазочный материал уже долгое время является важным компонентом в продлении ресурса и срока службы прокатных валков, а также снижения энергосиловых параметров.

Одним из перспективных направлений исследования процесса горячей прокатки является разработка адекватной и достаточно точной модели, которая позволила бы на основе теоретических данных о прокатываемом сортаменте прогнозировать энергосиловые параметры горячей прокатки на НШСГП 2000 как при использовании смазочного материала, так и без него. Построение подобной модели способно открыть новые возможности для исследования процесса проката, его оптимизации и повышения энергоэффективности.

В качестве модели для прогнозирования энергосиловых параметров процесса горячей прокатки на НШСГП «2000» были рассмотрены модели, в основе которых лежат нейронные сети. По сравнению с линейными методами статистики нейросети позволяют эффективно строить нелинейные зависимости, более точно описывающие наборы данных. Еще одним важным преимуществом нейронных сетей является их возможность работы при наличии большого числа неинформативных, шумовых входных сигналов, что значительно упрощает предварительный анализ данных по выявлению аномальных значений [1]. В ходе проведенного исследования было рассмотрено два вида нейросетевых моделей: *частные нейросетевые*

*модели*, обученные по отдельным клетям чистовой группы независимо друг от друга, и *общие нейросетевые модели*, обученные одновременно на данных всех клетей чистовой группы.

Для построения моделей была проведена обработка большого массива имеющихся статистических данных, в котором были собраны значения силы тока ( $I$ , А), давления ( $P$ , МН $\cdot 10^{-2}$ ), окружной скорости валков ( $V_p$ , об/м), относительного обжатия в клетях ( $\epsilon$ , %) при работающей и выключенной системе технологической смазки для различных марок стали, прокатываемых в различное время по клетям чистовой группы.

Основной проблемой при использовании нейросетевых моделей является отсутствие четких рекомендаций и процедур выбора той или иной архитектуры сети. Выбор наилучшей модели возможен путем построения большого числа нейронных сетей и выбор той, которая обеспечивает минимизацию ошибок прогноза. Были рассмотрены различные архитектуры нейронных сетей, а также различные передаточные функции и режимы обучения.

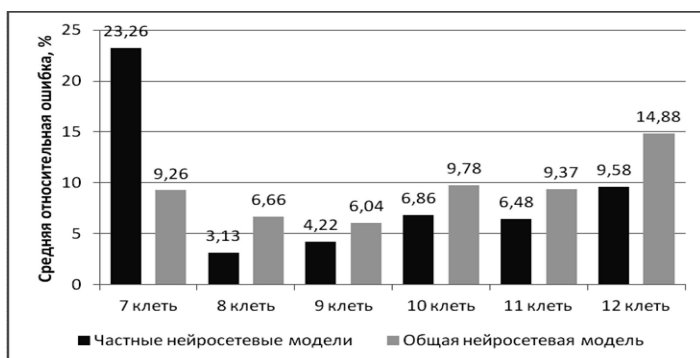
Архитектуры частных нейронных сетей, показавших наилучшую прогностическую точность на примере построения прогнозной модели для клетки №7 чистовой группы ШСГП 2000 ОАО «ММК», представлены в **таблице**. Средняя точность прогнозирования для данных моделей составляет 76-77%. Однако, наименьшая вероятность возникновения критических ошибок была достигнута при прогнозировании с использованием частной нейросетевой модели №1 (23,3%).

Средняя точность прогнозирования на основе общей нейросетевой модели составляет 90,67%. При этом минимизацию суммы квадратов отклонений и максимально достижимого отклонения обеспечивает нейронная сеть, состоящая из одного входного слоя, включающего 10 нейронов, трех скрытых слоев (7, 5 и 3 нейронов) и одного выходного нейрона, с сигмоидальной активационной функцией с параметром крутизны  $a = 1,3$ .

**Построение частной нейросетевой модели прогнозирования энергосиловых параметров проката на примере клетки №7 ШСГП 2000 ОАО «ММК»**

Параметр	Нейронная сеть №1	Нейронная сеть №2	Нейронная сеть №3
Архитектура сети	Скрытые слои: 1 – 4 нейрона 2 – 2 нейрона	Скрытые слои: 1 – 4 нейрона	Скрытые слои: 1 – 4 нейрона 2 – 2 нейрона
Используемая активационная функция	Сигмоида: $y = \frac{1}{1 + e^{-ax}}$ a = 1,5	Сигмоида: $y = \frac{1}{1 + e^{-ax}}$ a = 1,7	Гипертангенс: $y = \frac{e^{ax} - e^{-ax}}{e^{ax} + e^{-ax}}$ a = 1
Режим обучения	«обучение по шагам»	«обучение по шагам»	«обучение по шагам»
Степень распознавания тестового множества	100%	83,61%	100%
Степень распознавания обучающего множества	99,48%	99,66%	99,66%
Средняя относительная ошибка	23,74%	23,44%	23,26%
Максимальная относительная ошибка	71,38%	54,01%	65,29%

Сравнение качества и точности прогнозирования на основе рассмотренных подходов было произведено с использованием 4-х показателей: средняя относительная ошибка; максимальная относительная ошибка; вероятность возникновения больших ошибок, свыше 35%; вероятность возникновения критических ошибок, 50%. На рисунке представлена гистограмма распределения средних относительных ошибок частных и общей нейросетевых моделей для клеток чистовой группы ШСГП 2000 ОАО «ММК».



Средние относительные ошибки моделей

Наименьшие средние относительные ошибки для клеток №8–12 показали частные нейросетевые модели. Кроме того, вероятность возникновения критических ошибок для данных моделей минимальна. Однако применение частной нейросетевой модели для прогнозирования энергосиловых параметров первой клетки чистовой группы является нецелесообразным. При прогнозировании значений «силы тока» для клетки №7 наиболее точные результаты демонстрирует общая нейросетевая модель.

Таким образом, применение нейросетевых технологий для прогнозирования энергосиловых параметров процесса горячей прокатки, благодаря процессу корректировки весов модели, позволяет существенно снизить ошибку прогноза. Полученные нейронные модели для прогнозирования силы тока на клетях №7–12 клетях чистовой группы позволят аналитически исследовать оптимальный с точки зрения энергоэффективности режим прокатки при варьировании основных параметров.

**Список литературы**

1. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: пер. с польск. И.Д. Рудинского. М.: Горячая линия – Телеком, 2006. 452 с., ил.
2. Эффективность процесса горячей прокатки с подачей смазочного материала между опорным и рабочим валками на непрерывном широкополосном стане горячей прокатки 2000 ОАО «ММК» / М.В. Харченко, С.И. Платов, М.И. Румянцев, Р.Р. Дема // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2011. №4. С.19–21.
3. Комплексная оценка и исследование эффективности системы подачи технологической смазки в клетях №7–9 непрерывного широкополосного стана горячей прокатки 2000 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» / М.В. Харченко, С.В. Дубовский, Р.Р. Дема, А.В. Ярославцев // Производство проката. 2011. №12. С. 6–8.
4. Определение параметров, воздействующих на эффективность работы системы подачи технологической смазки непрерывных широкополосных станов горячей прокатки / М.В. Харченко, М.И. Румянцев, Р.Р. Дема // Металлургические процессы и оборудование. 2012. №1. С. 12–17.

**Bibliography**

1. Rutkovskaya D. Pilinsky M. Rutkowski L. Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems: Trans. from Polish. ID Rudinsky Moscow Hot Line – Telecom, 2006. 452 p., ill.
2. The effectiveness of the process of hot rolling supply of lubricant between the reference and working rolls on a continuous wide strip hot rolling mill in 2000 JSC «MМК» / M.V. Kharchenko, S. Platov, M.I. Romyantsev, R.R. Dema Journal of the Magnitogorsk State Technical University. G. Nosov. 2011. № 4. p.19–21.
3. Comprehensive assessment and investigation of the effectiveness of the delivery process lubricants in the stands № 7–9 continuous wide hot strip mill in 2000 OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works» / M.V. Kharchenko, S. Dubovsky, R.R. Dema, A. Yaroslavtsev. Scientific and technical journal Rolled. 2011. №12. p. 6– 8.
4. Determination of the parameters affecting the efficiency of the delivery system of continuous broadband technology lubrication hot rolling mills. / M.V. Kharchenko, M.I. Romyantsev, R.R. Dema. Scientific, technical and production journal Metallurgical processes and equipment. (Ukraine). In 2012. № 1. P. 12–17.