


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»



На правах рукописи

Мухин Николай Петрович

**Проектирование и разработка интеллектуальной системы  
детектирования аномалий в процессе выплавки**

Направление подготовки

09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»

АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2023

Коротченко  
Лариса Никитовна

**Проверено**

03.07.2023 Зачтено Библиотека


Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре  
государственный университет»

Научный руководитель:



Кандидат технических наук, доцент,  
зав. кафедрой ПУРИС ФГБОУ ВО  
«Комсомольский-на-Амуре государ-  
ственный университет» Петрова Анна  
Николаевна

Рецензент:



Кандидат физико-математических  
наук, доцент кафедры Информац-  
ионной безопасности, информационных  
систем и физики ФГБОУ ВО «Амур-  
ский гуманитарно-педагогический  
государственный университет» Ани-  
симов Антон Николаевич

Защита состоится « 29 » июня 2023 года в 14 часов 00 мин. на заседании  
государственной экзаменационной комиссии по направлению 09.04.01 «Ин-  
форматика и вычислительная техника» в Комсомольском-на-Амуре государ-  
ственном техническом университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-  
Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 321/3

Автореферат разослан 26 июня 2023 г.

Секретарь ГЭК



Е.В. Абрамсон

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** На предприятии «Амурсталь» существует проблема появления аномалий при плавлении, которые сможет найти только опытный сталевар. Актуальность обусловлена потребностью заменить экспертное мнение опытного сталевара прогнозом от обученной нейронной сети на основе информации о существующих плавках.

Разработка системы для детектирования аномалий позволит:

- сократить время обнаружения аномалий при плавке;
- отобразить полную информацию о плавке;
- создать прогноз для возможных аномалий.

Система должна представлять собой программное обеспечение с интегрированной обученной нейронной сетью.

Существуют разные алгоритмы обучения нейронных сетей: метод обратного распространения, метод упругого распространения и генетический алгоритм обучения. Однако все они подчиняются двум основным принципам: с учителем и без него.

Теоретической основой исследования послужили работы российских и зарубежных авторов: Мак-Каллок У. С., Ахметзянов К. Р., Костин, Н. С., Xianjun Ni, Good I. J., Schwenk H. и Milgram M., Lung Vu, Jie Zhang, Lewis Nitschinsk. В процессе исследования проблемы использовались методы логического, статистического анализа.

Помимо этого, были найдены готовые нейронные сети «Novo Forecast» и «Прогнозирование инноваций», однако среди них нет такой, которая могла бы находить аномалии и имела возможность прогнозировать новые в будущем. Также у аналогов отсутствует возможность рассчитывать время плавки для обучения нейронных сетей.

**Целью** диссертационной работы является повышение КПД на производстве в процессе выплавки стали в электродуговой сталеплавильной печи,

уменьшение временных затрат на обучение сотрудников и получения опыта персоналом при работе с дуговой сталеплавильной печью.

**Задачи** исследования:

- Изучить предметную область.
- Сформировать и преобработать Data Set.
- Изучить алгоритмы обучения нейронных сетей и выбрать модель алгоритма обучения для реализации системы прогнозирования аномалий, адаптировать алгоритм для уменьшения количества параметров, на которых обучается нейронная сеть.
- Реализовать обучение искусственной нейронной сети на основе преобработанных данных из внутренней автоматизированной системы оперативного управления производством (АСОУП).
- Определить алгоритмы для обучения нейронной сети и методы прогнозирования.
- Исследовать систему на отказоустойчивость и уменьшить количество сбоев системы.
- Реализовать компоненту системы для прогнозирования оценки и представления результатов.

**Объектом** исследования является программное обеспечение для детектирования аномалий в процессе выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи.

**Предметом** исследования является проектирование, и разработка интеллектуальной системы детектирования аномалий в процессе выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи.

**Методы** исследования: в рамках исследования использовались методы логического и статистического анализа, численных методах.

**Новизна** полученных результатов заключается в реализации и проверке способа прогнозирования оценки, и адаптации метода для вычисления оценочного результата для задачи аппроксимации.

**Достоверность и обоснованность** результатов исследования подтверждается совокупностью следующих положений:

- реальностью исходных данных;
- их представительностью (типичность для предметной области);
- используемых при анализе модели апробированных научной общест-венностью логических закономерностей.

**Практическая значимость** результатов выполнения исследования за-ключается в:

- реализация метода предобработки данных, для приведения к нужному для обучения виду;
- модификация формулы для расчёта прогнозируемой оценки качества выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи.

#### **Личный вклад автора.**

Применение метода обратного распространения ошибки для обучения нейронной сети.

Предложен и реализован в программе модифицированный метод рас-чёта будущих аномалий на основе данных за прошлые месяца.

Разработана система для детектирования аномалий в процессе выплавки стали в электродуговой сталеплавильной печи.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

- 1 алгоритм уменьшения количества параметров, требуемых для обуче-ния нейронной сети;
- 2 разработанный программный код для обучения нейронной сети на основе предобработанных данных из системы АСОУП;
- 3 алгоритм расчета оценки качества выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях:

– Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований «Информационно-коммуникационные технологии» (г. Комсомольск-на-Амуре, 2023 г.);

Результаты диссертационного исследования опубликованы.

В рамках данной работы приведен функционал разработанного программного обеспечения на территории отдела АСУТП ОАО "Амурсталь" в г. Комсомольске-на-Амуре.

Объём и структура диссертационной работы: диссертация включает в себя введение, три основных главы, заключение, список используемой литературы и одно приложение. Объём диссертации составляет 63 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** дано обоснование актуальности и характеристика работы, сформулированы цель и задачи, указаны методы исследования, представлены основные положения, показана научная новизна и практическая значимость, описана структура работы.

**В первой главе** рассматривается организация процесса разработки программного обеспечения (далее по тексту ПО).

Решение с использованием технологии прогнозирования результата с помощью нейронных сетей позволит упростить процесс выплавки в сталеплавильной печи путём замены экспертного мнения опытного сталевара прогнозом от обученной нейронной сети на основе информации о существующих плавках.

Проведен анализ требований к функциональным характеристикам системы и пользовательскому интерфейсу. На основе полученных данных рассмотрены типы библиотек для создания нейронных сетей:

- Keras – это библиотека для языка программирования Python, которая предназначена для глубокого машинного обучения. Keras создавалась как гибкая модульная библиотека, которую легко настраивать и модифицировать.

Она бесплатная, у нее открытый исходный код, который может посмотреть любой желающий. Keras имеет узкую специализацию. Это инструмент для специалистов по машинному обучению, которые работают с языком Python: именно его чаще всего используют благодаря удобству математических вычислений. Keras применяют разработчики, которые создают, настраивают и тестируют системы машинного обучения и искусственного интеллекта, в первую очередь нейронные сети.

- TensorFlow – это библиотека для машинного обучения, которая включает в себя множество инструментов для разных направлений, но чаще всего используется для работы с нейронными сетями. Это структуры, вдохновленные устройством сетей нейронов в человеческой нервной системе. Нейронные сети состоят из программных элементов-«нейронов» и связей между ними, и такое устройство позволяет им обучаться. TensorFlow работает с обычными и глубокими нейронными сетями разных типов: рекуррентными, сверточными и так далее. Также она используется для машинного и глубокого обучения.

- NumPy – это библиотека Python, которую применяют для математических вычислений: начиная с базовых функций и заканчивая линейной алгеброй. У этой библиотеки есть несколько важных особенностей, которые сделали ее популярным инструментом.

Во-первых, исходный ее код в свободном доступе хранится на GitHub, поэтому NumPy называют open-source модулем для Python.

Во-вторых, библиотека написана на языках C и Fortran. Это компилируемые языки, на которых вычисления производятся гораздо быстрее и эффективнее, чем на интерпретируемых языках. К этим языкам относится и сам Python.

- Collections – это встроенный модуль Python, реализующий специализированный контейнер типов данных. Является альтернативой встроенным контейнерам общего назначения Python, таким как dict, list, set и tuple. Модуль

Collections также включает и другие полезные типы данных, такие как deque, Chainmap, UserString и т. д.

- PyCharm – это кроссплатформенная интегрированная среда разработки для языка программирования Python. PyCharm – это среда программирования для языка Python, или IDE. Средами называют программы, в которых можно писать, запускать и отлаживать код, устанавливать новые расширения и дополнительные модули. Это мощный многофункциональный инструмент для разработчиков. PyCharm пользуется более 50% разработчиков на Python: она удобная, понятная и многофункциональная.

PyCharm существует для нескольких операционных систем: Windows, Linux и macOS. Она поддерживает разные версии Python: и 2.x, и 3.x. Ее широкие возможности делают разработку на Python быстрее и эффективнее.

- Theano – это научная математическая библиотека, которая позволяет вам определять, оптимизировать и вычислять математические выражения, в том числе и в виде многомерных массивов. Theano отличная библиотека ML и AI, поскольку она может работать с очень большими нейронными сетями. Ее целью является снижение времени разработки и увеличение скорости выполнения приложений, в частности, основанных на алгоритмах глубоких нейронных сетей

На основе проанализированной информации было принято решение выбрать библиотеку Keras вместе с TensorFlow, так как с их помощью можно решить поставленную задачу прогнозирования.

Существует огромное разнообразие различных архитектур. Разрабатываемая интеллектуальная система должна работать офлайн, с возможностью на следующем этапе разработки перевести её на онлайн режим.

Новые виды архитектуры нейронных сетей появляются постоянно. На рисунке 1 представлена большая часть существующих видов искусственных нейронных сетей. Хотя все они указаны как уникальные, по большей части многие из них очень похожи.



Проблема различных архитектур заключается в том, что они не показывают, как соответствующие сети используются на практике. Вариационные автокодировщики (VAE) выглядят совсем как простые автокодировщики (AE), но их процессы обучения существенно различаются. Случаи использования отличаются ещё больше, поскольку VAE – это генератор, которому для получения нового образца подаётся новый шум. AE же просто сравнивает полученные данные с наиболее похожим образцом, полученным во время обучения.

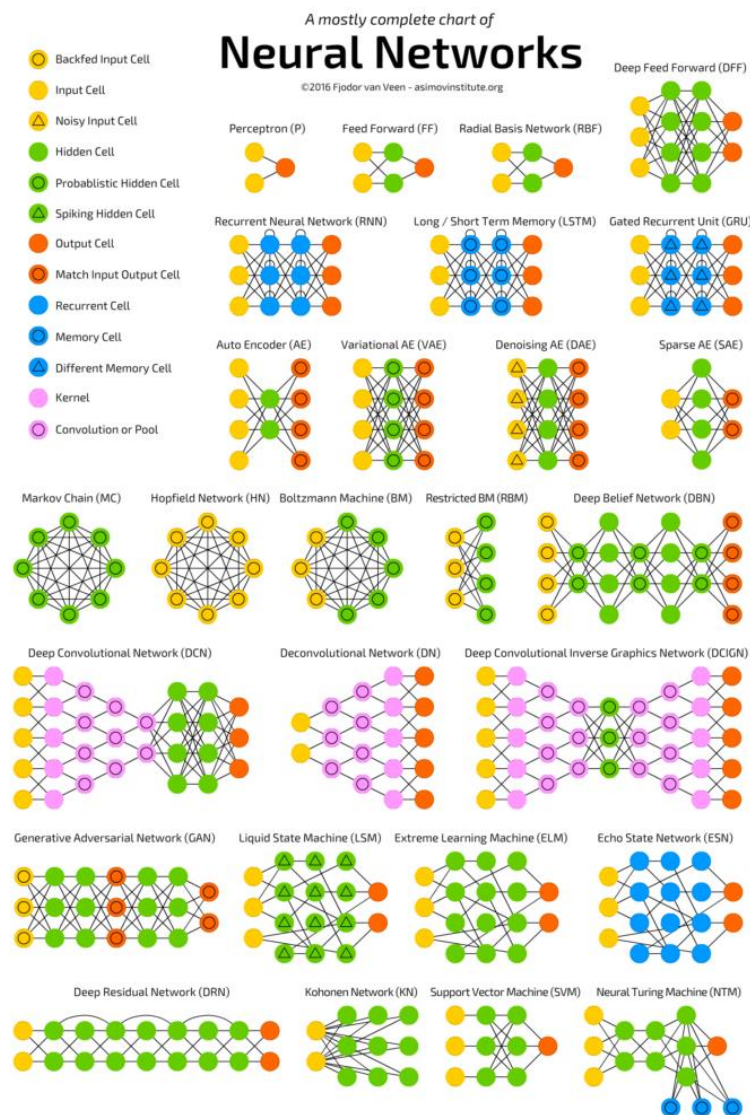


Рисунок 1 – Основные виды нейронных сетей

Рассмотрев основные архитектуры сетей выделены 2 из них, это Сверточная нейронная сеть и LSTM, которые подходят для реализации системы детектирования аномалий. Была выбрана архитектура LSTM, так как LSTM подходит для очень больших моделей, данную архитектуру также внедрили у себя Microsoft, Google, Apple, Amazon и другие.

В таблице 1 приведены аналогичные ПО для прогнозирования.

Таблица 1 – Сравнение системы и её аналогов

	Novo Forecast	Прогнозирование инноваций	Опыт стаже-вара	Разрабатываемое ПО
Обучение нейронной сети с помощью подготовленного Dataset	-	-	-	+
Уменьшение количества параметров с помощью корреляции	+	-	+	+
Возможность просмотра и работа с данными из файла с таблицей	+	+	+	+
Запись информации таблицу	+	+	+	+
Построение графика на основе коэффициентов уравнения регрессии	-	-	+	-
Прогнозирование оценки	-	-	+	+
Возможность вывода информации в графическом виде	+	-	-	+

Анализ аналогичных ПО производился по следующим критериям оценки:

- обучение нейронной сети с помощью подготовленного Dataset;
- уменьшение количества параметров с помощью корреляции;
- возможность просмотра и работа с данными из файла с таблицей;
- запись информации таблицу;
- построение графика на основе коэффициентов уравнения регрессии;
- прогнозирование оценки;
- возможность вывода информации в графическом виде.

Таким образом, для реализации задач проекта в системе «Оценки плавки» был выбран алгоритм обратного распространения ошибки, с помощью которого должны быть реализованы следующие функции обученной системы:

- Выбор данных для обучения.
- Уменьшение количества параметров для обучения с помощью корреляции.
- Расчёт оценки качества выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи.
- Вывод данных в виде графика.

**Во второй главе** магистерской диссертации описаны методы оптимизации параметров для обучения и алгоритмы обучения.

Методика реализации корреляционного анализа для уменьшения количества параметров плавления для обучения нейронной сети.

Пример корреляции с помощью Pandas представлен на рисунке 2.

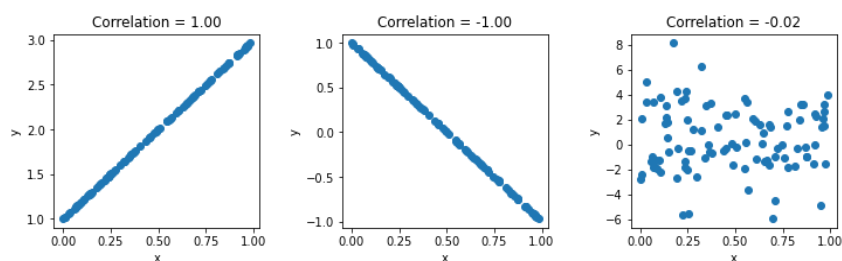


Рисунок 2 – Корреляция в Pandas

Алгоритм обратного распространения ошибки – это алгоритм обучения плоскостойких нейронных сетей прямого распространения (многослойных персептронов). При обучении требуется, чтобы в примерах были заданы целевые значения. В основе алгоритма лежит использование выходной ошибки нейронной сети для вычисления величин коррекции весов нейронов в ее скрытых слоях:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k (y - y')^2 \quad (1)$$

где  $k$  – число выходных нейронов сети;

$y$  – целевое значение;

$y'$  – фактическое выходное значение.

Суммирование ведется по всем нейронам выходного слоя и по всем обучающим примерам. На каждой итерации происходит два прохода сети – прямой и обратный.

Перед реализацией метода требуется провести корреляцию данных для уменьшения количества параметров плавления. Обучение сети происходит на ограниченном числе параметров. Поэтому требуется провести корреляцию данных для уменьшения количества параметров плавления. Существует несколько различных методов корреляции. Для поставленной задачи значения распределяются нормально, поэтому был использован метод Пирсона [3]. Коэффициент корреляции Пирсона:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 * \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

где  $x_i$  – значение переменной X;

$y_i$  – значение переменной Y;

$\bar{x}$  – среднее арифметическое для переменной X;

$\bar{y}$  – среднее арифметическое для переменной Y.

Для уменьшения входных параметров плавления была проведена корреляция по формуле (2), в заранее собранных параметрах.

В результате количество параметров для обучения снизилось с 16 до 9. Затем было произведено обучение нейронной сети методом обратного распространения ошибки по формуле (1) и проверка данных на разных эпохах обучения. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Исследование до и после корреляции данных

Этап	Количество строк на каждом шаге до корреляции	Количество строк на каждом шаге после корреляции
Базовая	6024	6024
1 шаг	4138	3877
2 шаг	2239	1793
3 шаг	1421	712
4 шаг	648	97

Все вычисления происходили в одном окружении (как программном, так и аппаратном) для корректности сравнения результатов.

Метод прогнозирования временных рядов с помощью рекуррентных нейронных сетей для прогнозирования оценки плавки подразумевает использование многомерных временных рядов. Для работы метода требуется, чтобы подаваемые на вход модели данные (input data) должны быть подготовлены соответствующим образом.

**В третьей главе** магистерской работы описывается практическая реализация программного обеспечения. Данный раздел содержит подробную инструкцию по работе с разработанным приложением.

Поиск оценки методом наименьших квадратов представлен на рисунке 3.

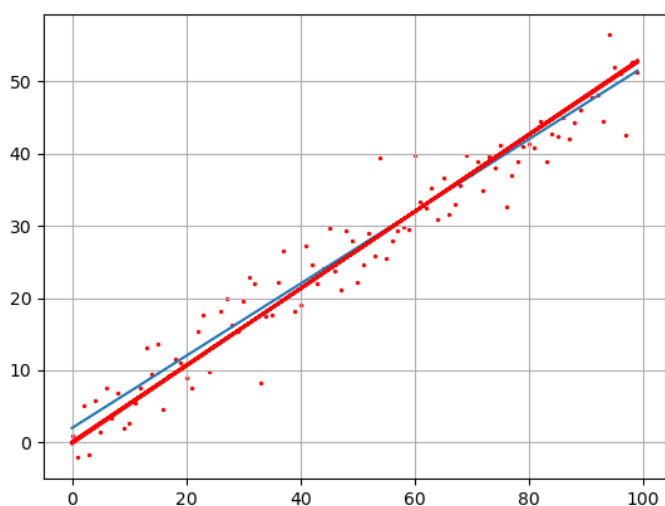


Рисунок 3 – Валидация нейронной сети

Программное обеспечение реализовано в среде PyCharm Community и Google Colab на языке Python. Программа вычисляет оценку плавления и создаёт прогноз на выплавку.

Настройка программы и ввод данных осуществляется с помощью пользовательского интерфейса с использованием полей ввода, кнопок и таблиц.

В программе созданы функции для работы с моделями ИНС. Также были определены функции для визуализации данных, обработки таблиц. Опишем

созданные функции. В программе 2 режима работы «Расчёт оценки» и «Прогнозирования».

В основе работы режима лежит функция вычисления оценки методом наименьших квадратов. Данная реализация метода описывает вычисление отклонения и расчёт значений параметров.

В основе работы режима лежит создание прогноза на основе нейронной сети.

Основной вид системы прогнозирования оценки представлен на рисунке 4.

	time	gas	oxygen	coal	metal	liquidMetal	izv	electrick	temperature	relationship	PredictedRelationship
0	66.0	1219.0	5500.0	1393.0	139.3	127.3	31.0	353.79	1617.0	0.915874	0.937097
1	47.0	1281.0	6257.0	1429.0	137.0	130.4	35.0	394.17	1628.0	0.951825	0.925004
2	42.0	1037.0	5257.0	1005.0	138.3	124.7	32.0	395.19	1601.0	0.968373	0.935055
3	50.0	1283.0	5508.0	1104.0	132.4	129.2	34.0	373.59	1620.0	0.916418	0.929208
4	47.0	1237.0	5903.0	1514.0	135.8	129.3	30.0	389.70	1582.0	0.960972	0.937564

Рисунок 4 – Сравнение правильного ответа и ответа системы прогнозирования оценки

**В заключении** перечислены основные результаты работы.

**В приложении** приведен исходный код программы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполнения магистерской диссертации была достигнута поставленная цель, разработана система оценки качества выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи.

В ходе выполнения работы была подготовлена пояснительная записка, включающая в себя: постановку задачи на научное исследование, обзор аналогов, научное исследование, описание программного обеспечения, руководство пользователя системы и исходный код программного обеспечения. Текст

пояснительной записки содержит схемы и рисунки, что позволяет наглядно показать решение поставленных задач.

Были рассмотрены теоретические сведения о корреляции и среднем квадратичном отклонении, на основе этих сведений были предложены модифицированные формулы прогнозирования результатов с помощью средне-квадратичного отклонения.

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

1) Мухин, Н. П. Уменьшение количества параметров обучения нейронной сети с помощью корреляции / Н. П. Мухин, А. Н. Петрова // Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований «Информационно-коммуникационные технологии» (10-14 апреля 2023 г.) Комсомольск-на-Амуре, 2023 г. – С. 954–956.

2) Мухин, Н. П. Предиктивная система прогнозирования оценки качества выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи / Н. П. Мухин, А. Н. Петрова // «Южно-Сибирский научный вестник» 2023 г.