

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В КАЧЕСТВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.Ф. Каперко

*Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Россия, 123458, Москва, Таллинская ул., 34
E-mail: akaperko@hse.ru*

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, ионизирующее излучение, метод контроля, программный пакет GEANT4.

Аннотация: Для контроля ионизирующего излучения в космическом пространстве используются спектрометры, построенные на алмазных детекторах, которые обладают сверхвысокой радиационной стойкостью. Рассматривается использование искусственных нейронных сетей в качестве интеллектуального метода контроля потоков ионизирующего излучения в аппаратуре обработки выходной информации со спектрометра. С помощью спектрометра анализируются 24 входных сигнала, содержащих интегральные количественные характеристики потоков ионизирующего излучения. Обработывается информация о потоках электронов, протонов и тяжелых заряженных частиц в энергетическом диапазоне от 0,1 до 10000 МэВ. Предложен математический аппарат, позволяющий получать информацию о дифференцированных значениях плотностей потоков ионизирующего излучения в 21 энергетическом диапазоне. Модель преобразования информации в тракте регистрации спектрометра основывается на использовании алгоритма моделирования в программном пакете GEANT4.

1. Введение

Для обеспечения длительного функционирования аппаратуры при интенсивном радиационном воздействии в условиях космического пространства, особенно таких факторов, как потоки тяжелых заряженных частиц, электронов и протонов обычно используются алмазные детекторы.

Для контроля потоков ионизирующего излучения предлагается использовать спектрометр с пятью алмазными детекторами [1]. Однако, информация о частицах ионизирующего излучения, содержащаяся в каждом счетчике, представляет собой суммарное значение потоков электронов, протонов и тяжелых заряженных частиц с различными энергиями. Для использования информации в системах управления потоками ионизирующего излучения необходимо по измерительным данным спектрометра на алмазных детекторах получить отдельные значения потоков ионизирующего излучения по различным энергетическим диапазонам с использованием искусственных нейронных сетей [2, 3]. С помощью спектрометра анализируются 24 входных сигнала, содержащих интегральные количественные характеристики потоков ионизирующего излучения. Обработывается информация о

потоках электронов, протонов и тяжелых заряженных частиц в энергетическом диапазоне от 0 до 10000 МэВ. Предложен математический аппарат, позволяющий получать информацию о дифференцированных значениях плотностей потоков ионизирующего излучения в 21 выходном энергетическом диапазоне. Модель преобразования информации в тракте регистрации спектрометра основывается на использовании алгоритма моделирования в программном пакете GEANT4. Решение задачи восстановления исходных данных по измеренным показаниям спектрометра проводился в несколько этапов по следующей технологической цепочке: подготовка матрицы входных и выходных значений; проработка конфигурации нейронной сети; обучение и оптимизация структуры нейронной сети; выработка рекомендаций по коррекции нейронной сети.

2. Особенности конструкции спектрометра потоков ионизирующего излучения

В качестве основной конструкции спектрометра потоков ионизирующего излучения выбран модуль, состоящий из пяти алмазных детекторов. Первые четыре канала предназначены для регистрации электронов и протонов, а пятый канал для регистрации тяжелых заряженных частиц. При попадании ионизирующей частицы излучения в алмазный детектор в нем возникает электрический заряд Q , пропорциональный энергии частицы E . Выходной сигнал каждого детектора усиливается с помощью отдельного зарядочувствительного усилителя (ЗЧУ), на выходе которого появляются импульсы напряжения с амплитудой, пропорциональной заряду Q , а, следовательно, энергии E , переданной частицей детектору. Выходные сигналы зарядочувствительных усилителей с помощью аналого-цифрового преобразования сортируются по амплитудным уровням на несколько диапазонов. В цифровой схеме спектрометра потоки ионизирующего излучения регистрируются с помощью 24-х счетчиков частиц, сигналы от которых превысили соответствующие амплитудные уровни. На рисунке 1 представлена функциональная схема многоканального узла сенсоров спектрометра потоков ионизирующего излучения (ИИ). Схема включает селективные поглощающие фильтры (Φ), которые обеспечивают предварительное разделение ионизирующего излучения по виду и энергии.

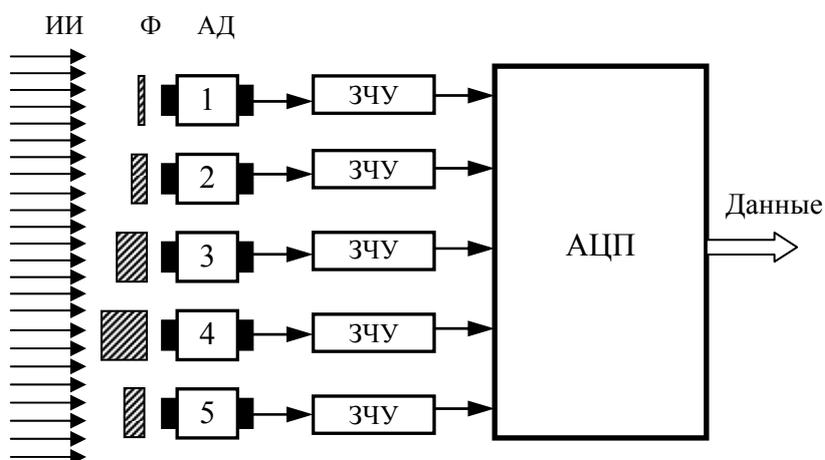


Рис. 1. Функциональная схема спектрометра потоков ионизирующего излучения: Φ –селективные фильтры; АД – алмазные детекторы; ЗЧУ–зарядочувствительные усилители; АЦП–аналого-цифровой преобразователь; ИИ–поток частиц ионизирующего излучения.

Основными параметрами, определяющими пороговую энергию и, следовательно, степень предварительного разделения ионизирующего излучения по виду и энергии, являются материал и толщина селективного фильтра, который выполняется в виде металлической пластины. Проходя через материал фильтра, ионизирующая частица теряет часть своей энергии, что приводит к смещению спектра поглощения энергии в алмазном детекторе. В результате, за время цикла измерения и контроля в 24 программных счетчиках частиц спектрометра фиксируются данные о количестве частиц ионизирующего излучения, прошедших через спектрометр из соответствующего энергетического диапазона. Для использования информации в системах управления потоками ионизирующего излучения необходимо по измерительным данным спектрометра получить отдельные значения потоков ионизирующего излучения по различным энергетическим диапазонам.

3. Применение искусственной нейронной сети для обработки измерительных данных

Задача восстановления параметров потоков ионизирующего излучения по измерительным данным спектрометра является математически некорректной, т.к. измерительные данные определяются интегральными спектрами ионизирующего излучения, а восстановлению подлежат дифференциальные спектры ионизирующего излучения [4]. Для минимизации погрешностей восстановления спектров предлагается использовать искусственную нейронную сеть. Входными данными искусственной нейронной сети являются измерительные данные модуля контроля, т.е. содержимое 24 программных счетчиков. Искусственная нейронная сеть строится на основе персептрона с одним скрытым слоем, которая представлена на рисунке 2, где x_0, x_1, \dots – содержимое программных счетчиков (входные данные); w_{1jk}, w_{2jk}, \dots – коэффициенты связи искусственной нейронной сети; y_1, y_2, \dots – энергетические спектры ионизирующего излучения (выходные данные).

Выходные данные представляют собой значения потоков ионизирующего излучения в 21 заданном энергетическом диапазоне. ИНС с такой структурой была использована для восстановления спектров КИ по измерительным данным спектрометра ионизирующих излучений и показала удовлетворительные результаты.

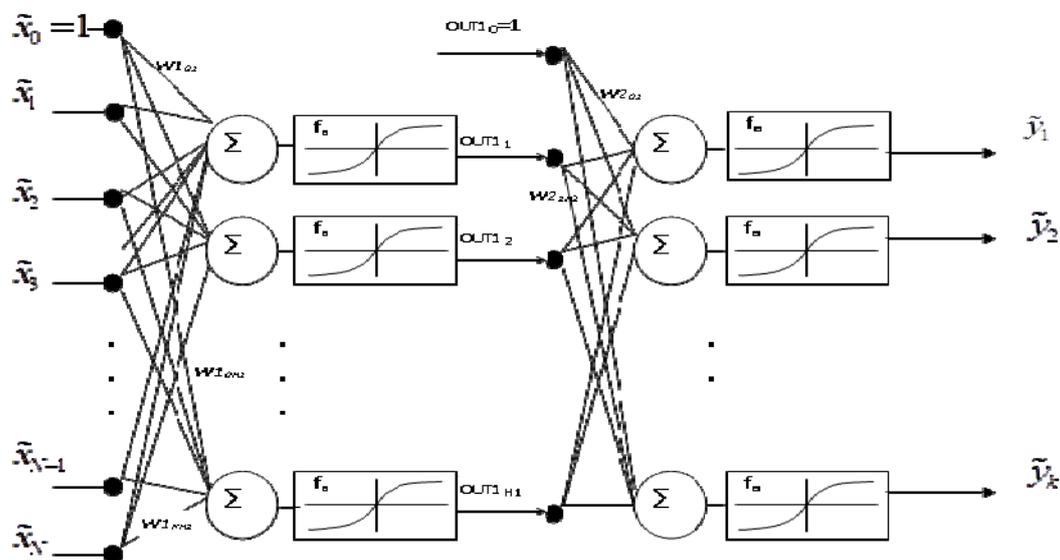


Рис. 2. Структура персептрона с одним скрытым слоем.

Важным этапом исследований является «обучение» нейронной сети, что в итоге позволяет ей с большой вероятностью правильно реагировать на новые, не предъявленные ей ранее данные. Для обучения нейронной сети необходимо сформировать базу данных, на основе которых может быть построена нейронная сеть прямого распространения, имеющая, как правило, большую степень уверенности. В ряде случаев используется обучение с помощью алгоритма обратного распространения, являющегося модификацией градиентного спуска, при котором определяется среднеквадратичная ошибка сети как разница между эталонным и выходным вектором.

Обучение искусственной нейронной сети выполняется в два этапа. На первом этапе осуществляется расчет с помощью алгоритма моделирования в программном пакете GEANT4 данных спектрометра по экспериментально зарегистрированным спектрам ионизирующего излучения с использованием модели преобразования информации [5]. На втором этапе выполняется обучение искусственной нейронной сети по экспериментально зарегистрированным спектрам потоков ионизирующего излучения и рассчитанным в предыдущем пункте данным спектрометра.

Для проведения экспериментальных исследований был разработан программный комплекс, позволяющий формировать и изменять параметры модели искусственной нейронной сети, проводить ее обучение и тестирование, получать расчетные результаты и отображать их визуально и в виде таблиц. Интерфейс программного комплекса модели искусственной нейронной сети и ее обучения представлен на рис. 3

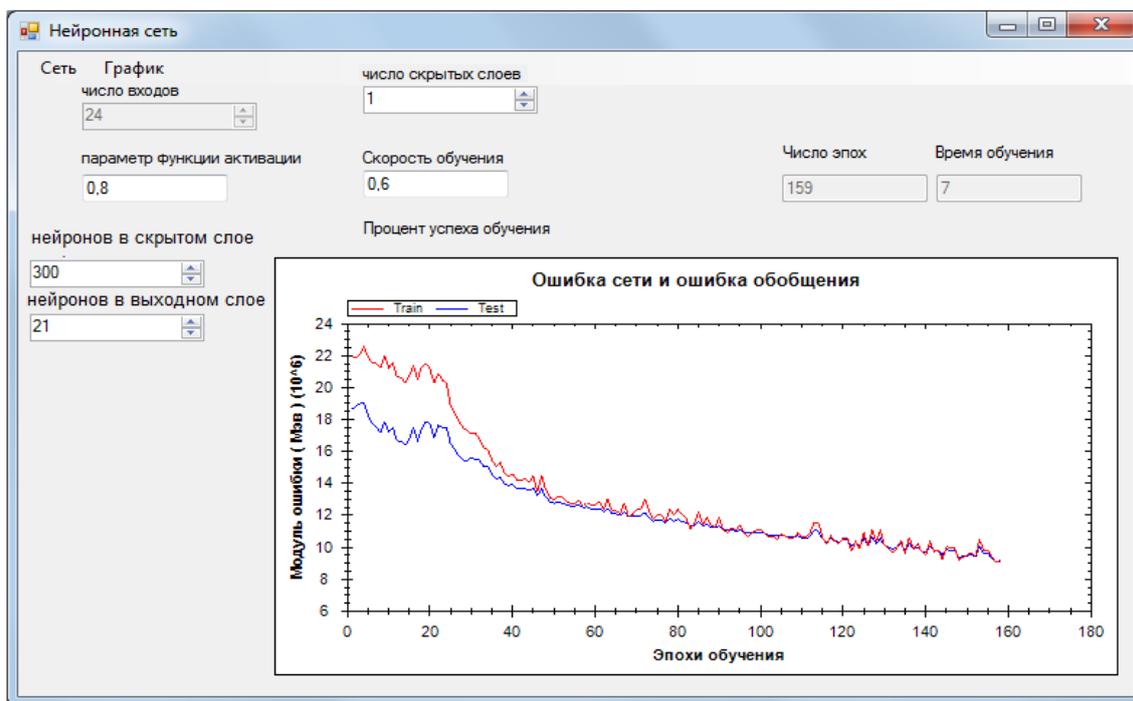


Рис. 3. Интерфейс программного комплекса модели искусственной нейронной сети и ее обучения.

Обучающая выборка измерительных данных потоков ионизирующего излучения делилась на две части: $P=800$ примеров использовались для обучения нейронной сети (обучающие множество), 200 примеров – для тестирования (тестовое множество). Примеры из обучающего множества равномерно перемешивались. Размерность

входного сигнала $N=24$, размерность выходного сигнала $K=21$. Первоначально количество нейронов в скрытом слое HI было выбрано равным 80. Но такое количество нейронов не позволило обучить модель искусственной нейронной сети до значения ошибки $\epsilon \leq 0.1$, т.е. с погрешностью менее 10%. Только увеличив количество нейронов в скрытом слое HI до 300, удалось добиться требуемой точности и для этого потребовалось 3000000 итераций обучения.

4. Заключение

В ходе исследования разработана функциональная схема спектрометра, основанная на блочном преобразовании информации о потоках ионизирующего излучения в измерительные данные о потоках электронов, протонов и тяжелых заряженных частиц в 21 энергетическом диапазоне от 0,1 до 10000 МэВ.

Восстановление спектров ионизирующего излучения по измерительным данным спектрометра проводится с помощью искусственной нейронной сети.

Разработана модель искусственной нейронной сети, позволяющий получать информацию о дифференцированных значениях плотностей потоков ионизирующего излучения (электронов, протонов и тяжелых заряженных частиц) в 21 энергетическом диапазоне.

Разработан программный комплекс модели искусственной нейронной сети, проведено ее обучение и тестирование, выполнены расчеты с погрешностью менее 10%.

Список литературы

1. Zakharchenko K.V., Kapenko A.F., Kolyubin V.A., Kulagin V.P., L'vov S.A., Nedosekin P.G., Chumachenko E.N. Spectrometric Diamond Detector of Fluxes of Ionizing Radiation for Space Transportation Systems // Measurement Techniques. 2015. Vol. 58, No 6. P. 713-718.
2. Ямаев А.В., Чукалина М.В., Николаев Д.П., Шешкус А.В., Чуличков А.И. Нейронная сеть для предварительной обработки данных в компьютерной томографии // Автоматика и телемеханика. 2021. № 10. С. 152-164.
3. Истратов А.Ю., Захарченко К.В., Каперко А.Ф., Колюбин В.А., Кулагин В.П., Курочкин Р.И. Применение нейросетевого подхода к измерениям потоков космического излучения // Измерительная техника. 2016. № 3. С. 49-54.
4. Афанасьев В.Н., Каперко А.Ф., Кулагин В.П., Колюбин В.А. Метод адаптивной фильтрации в задаче восстановления космического излучения // Автоматика и телемеханика. 2017. № 3. С. 15-33.
5. Гладченков Е.В., Захарченко К.В., Ибрагимов Р.Ф., Каперко А.Ф., Колюбин В.А., Кулагин В.П., Недосекин П.Г., Тюрин Е.М. Экспериментальные исследования и математическое моделирование алмазных детекторов ионизирующих излучений // Приборы и техника эксперимента. 2017. № 3. С. 37-42.