

## МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПРЕДЕЛЬНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ СТЕРЖНЕЙ

**А. Ю. Хорохордин, В. А. Абанин**

Бийский технологический институт  
Филиал ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»,  
г. Бийск

Рассмотрены вопросы разработки методики построения нейронной сети для прогноза предельной механической прочности стеклопластиковых стержней по результатам их нагружения тестовой силовой нагрузкой.

**Ключевые слова:** Нейронные сети, база данных, стеклопластиковые стержни, предельная, механическая прочность, испытательная лаборатория.

На предприятии ООО «Бийский завод стеклопластиков» подтверждение качества продукции проводится экспериментальным путем в испытательной лаборатории. Однако оценка динамики изменения качества продукции и влияния на него различных влияющих факторов производства является сложным процессом. Поэтому в испытательной лаборатории внедряется информационная система для хранения результатов экспериментальных исследований отдельных видов продукции, характеристик испытательного оборудования (стендов), методов испытаний, средств измерений, алгоритмов обработки результатов испытаний и квалификации персонала лаборатории. Указанная информация совместно с данными о параметрах, характеризующих технологию изготовления продукции, применяется для анализа и установления причинно-следственных связей в изменении ее качества.

Актуальность выполняемой работы обусловлена необходимостью поиска резервов повышения эффективности работы испытательной лаборатории. В частности, из анализа результатов многолетних испытаний на механическую прочность стеклопластиковых стержней разрушающим методом контроля на основе продольного [3] изгиба перспективно, на наш взгляд, проведение исследований по обоснованию перехода к неразрушаемому методу испытаний. Суть перехода заключается в том, чтобы по результатам нагружения стержней небольшими по величине нагрузками

проводить обработку результатов испытаний, используя методологию искусственных нейронных сетей (ИНС) для прогноза предельной прочности стержней. Это позволит исключить необходимость механического разрушения стержней и получить дополнительную прибыль для предприятия за счет полной реализации выпускаемой продукции.

Эффективность применения ИНС обусловлена распараллеливанием обработки информации и способностью самообучаться при обработке больших объемов информации с размытыми исходными данными. Эти свойства позволяют нейронным сетям решать сложные (масштабные) задачи, которые на сегодняшний день считаются трудноразрешимыми [1,2].

В данной работе методология ИНС реализована с использованием среды программирования Delphi 7 и библиотеки, реализующей основные элементы нейронных сетей NeuralBase.

Основой для разработки ИНС являются результаты приемно-сдаточных и исследовательских испытаний, которые размещены в архиве информационной системы базы данных испытательной лаборатории. Этот этап реализуется как посредством ручной обработки архивов испытаний, так и при использовании единой информационной системы лаборатории [4-7] (Рисунок 1). Второй способ предпочтительнее, поскольку позволяет провести более глубокую классификацию результатов испытаний и обеспечить их высо-

кую представительность и достоверность. Эти условия необходимы для успешного построения аппроксимирующей нейронной сети.

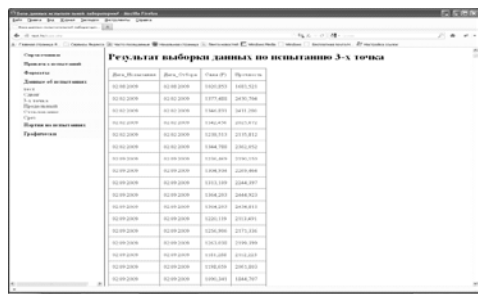


Рисунок 1 – Окно базы данных информационной системы с результатами запроса

По сформированной выборке определяются качественные и количественные характеристики, которые будут обрабатываться нейронными алгоритмами с целью оптимизации процесса испытания. В качестве входных данных для нейронной сети выбираются значения силы и перемещения на ранних этапах нагружения стержней силовой нагрузкой, когда механические напряжения во внутреннем объеме стержней не привели к необратимым разрушающим изменениям в его структуре. При этом учитываются экспериментальные данные о процессе определения предельной механической прочности стержней разрушающим методом. Нейронная сеть разрабатывалась с целью определения зависимости напряжение от силы и перемещения.

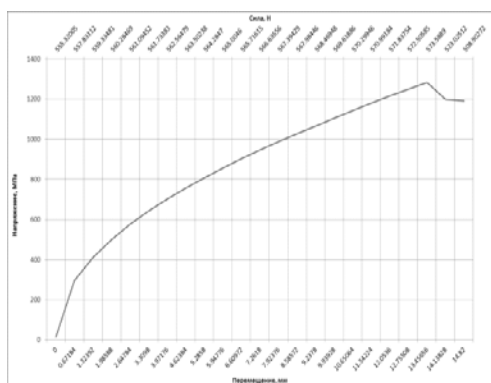


Рисунок 2 – Зависимость напряжения от приложенной силы при испытании стержней методом продольного изгиба

Далее на основе выбранных данных определяется структура и алгоритм обучения

сети. Выбор алгоритма и сети происходит параллельно по причине высокой связи алгоритма обучения и структуры сети.

В данной работе использовалась нейронная сеть представленная в виде многослойного персептрона, активационной функцией выбрана сигмоидальная функция. Она является строго монотонно возрастающей, непрерывной и дифференцируемой. Дифференцируемость является важным свойством для анализа нейронной сети и некоторых методов их обучения.[2]

В качестве алгоритма обучения был выбран модифицированный алгоритм обратного распространения ошибки. Для выбранного алгоритма обучения характерны три основных параметра:

Альфа (A) - определяет крутизну ативационной функции для нейронной сети и определяет гибкость сети. Чем выше параметр альфа, тем меньшее значение входного сигнала, устанавливающее значение функции в единицу.

Момент (M) – определяет чувствительность процесса обучения к локальным минимумам. При низком значении момента алгоритм обладает «низким моментом инерции» и высокой чувствительностью к локальным минимумам процесса аппроксимации. Повышение момента сглаживает процесс аппроксимации.

Скорость (C) – определяет коэффициент изменения веса входа после каждой эпохи обучения.

Влияние параметров процесса обучения нейронной сети на результат аппроксимации определялось методом постепенного приближения. На допустимых диапазонах значений каждого параметра были выбраны три значения: в начале, в середине и в центре. В качестве входных данных выбраны значения силы и механического напряжения на первом и десятом шаге дискретизации испытания. После анализа результатов, выбирались оптимальные параметры ИНС. По результатам расчётов для нейронной сети из 5 слоев, с распределением нейронов 4,10,10,10,1 выбраны следующие параметры: A - 0.01;M – 0.99 C – 0.5.

## МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПРЕДЕЛЬНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ СТЕРЖНЕЙ

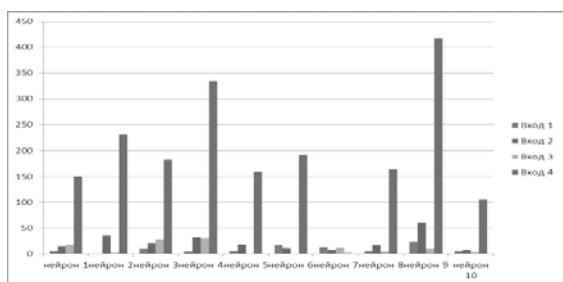


Рисунок 3 - Распределения весов на первом скрытом слое нейронной сети

Далее анализируется влияние весовых коэффициентов на результат ИНС. На рисунке 3 приведена гистограмма распределения весов на первом скрытом слое нейронной сети. Из ее анализа следует, что нейроны первого скрытого слоя формируют выходные значения, в основном опираясь на значения одного входа. Этот вывод можно сделать, опираясь на базовые закономерности нейронной сети. Чем выше абсолютное значение веса входа нейрона, тем больший вклад вносит этот вход в конечный результат. Из анализа графика следует, что после завершения обучения наибольший вес для всех нейронов первого слоя получил четвертый вход. Веса остальных входов близки к нулю, что определяется малой значимостью для результатов ИНС. Так как первый слой получает данные от нулевого (входного) слоя, то по коэффициентам первого слоя можно судить об уровне значимости входных данных для результирующей функции. Из анализа данного графика следует, что наибольший вес имеет значение напряжения на десятом шаге.

Полученные результаты позволяют провести полнофакторный эксперимент для сети с одним входом и тем же распределением нейронов в скрытых слоях. Результаты подтверждают выбранные параметры ИНС. Средняя ошибка для модифицированной ИНС возрастает с 0,54% до 1,2%.

Анализ распределения нейронов в модифицированной ИНС позволяет провести оптимизацию ее структуры. На рисунке 4 изображена гистограмма весовых коэффициентов третьего скрытого слоя по которой следует, что весь слой формирует свое значение на основе трех нейронов второго скрытого слоя.

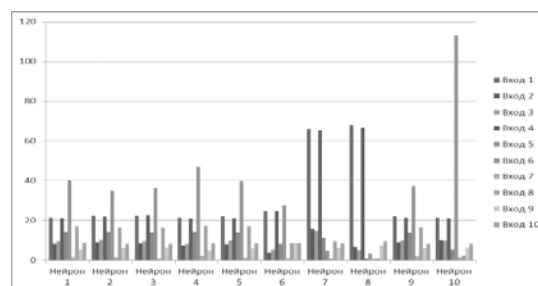


Рисунок 4 – Распределение нейронов в модифицированной сети

Методом последовательного упрощения на основе распределения весовых коэффициентов сеть приводится к виду 1 2 1 со средней ошибкой 1.97%.

На этом методика обучения и разработки нейронной сети завершается, т.к. достигнуты основные критерии повышения эффективности:

- сеть проста, что исключает запоминание обучающей выборки
- допустимый уровень точности аппроксимации зависимости.

Особенностью разработанной методики ИНС в том, что при первом обучении определяются большинство параметров ее и при незначительных изменениях в процессе производства возможно произвести повторное обучение сети с теми же параметрами, что не требует высокой квалификации от оператора. Подобный подход может быть применен и для определения взаимосвязи между контролируемыми параметрами качества и различными влияющими производственными факторами других видов продукции завода.

К недостаткам изложенной методики разработки ИНС следует отнести: необходимость в большом количестве численных экспериментов и риск не получить требуемой точности аппроксимации, что может быть вызвано как отсутствием каких либо взаимосвязей между предлагаемыми значениями, так и тем, что при выборе входных параметров ИНС был неучтен какой либо влияющий фактор. Для исключения указанных недостатков целесообразно эффективность ИНС при прогнозе предельной механической прочности стержней проверить при параллельной обработке результатов проводимых испытаний.

Разработанный вариант ИНС для прогноза предельной прочности стеклопластиковых стержней планируется применять в составе действующего в настоящее время измерительного и испытательного оборудова-

ния ООО «Бийский завод стеклопластиков» при испытании методом продольного изгиба для сравнения результатов расчетов ИНС и экспериментов. Для этого программное обеспечение будет дополнено ИНС.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбань А.Н. Нейронные сети на персональном компьютере [Текст]/ А.Н. Горбань, Д.А. Россиев.// Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. — 276 с.

2. Хайкин, Саймонс Нейронные сети, полный курс, 2-е изд. : пер. с англ. —М.: Издательский дом «Вильямс». -2006. —1104 с.

3. Локтев М.Ю., Автоматизированная установка для испытаний полимерных композиционных материалов методом продольного изгиба [Текст]/ Локтев М.Ю., Ермолаев Д.А., Савин В.Ф., Суранов А.Я., Абанин В.А. //Вестник АлтГТУ. — Барнаул: Изд-во АлтГТУ. №3/1 2011г. С.188-192.

4. Хорохордин А.Ю. Разработка информационной системы испытательной лаборатории ООО «Бийский завод стеклопластиков» [Текст]/А.Ю. Хорохордин, М.Ю.Локтев, В.А. Абанин// В сборнике материалов 6-й Всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством образования, продукции и окружающей среды» 06 июля – 07 июля 2012 года/ под ред. д.т.н., профессора А.Г. Овчаренко. – Бийск: Изд-во Алт.

гос. техн. ун-та, 2012—С. 162.

5. Хорохордин А.Ю. Информатизация испытательной лаборатории ООО «Бийский завод стеклопластиков»[Текст]/А.Ю. Хорохордин, М.Ю.Локтев, В.А. Абанин //Материалы Шестой Международной научно-технической конференции «Измерение контроль автоматизация-2013»-Том 1//под ред. Л.И. Сучковой. —Барнаул: Изд-во АлтГТУ.2013. —С 78-82.

6. Хорохордин А.Ю. Информатизация испытательной лаборатории ООО «Бийский завод стеклопластиков» [Текст]/ А.Ю. Хорохордин, М.Ю.Локтев, В.А. Абанин // Ползуновский вестник. —Барнаул: Изд-во АлтГТУ. 2013. – №2. – С. 222–225.

7. Хорохордин А.Ю. Применение нейросетевых технологий при проектировании информационных систем промышленных предприятий»[Текст]/А.Ю. Хорохордин, В.А. Абанин // Материалы 2-ой международной научно-практической конференции (Бийск, 2-5 марта 2014 г.)/Алтайская гос. академия обр-я им. В.М. Шукшина. – Бийск: ФГБОУ ВПО «АГАО», 2014. – С. 143-147.

**Хорохордин Александр Юрьевич – аспирант,**  
тел.: 8-905-924-20-00, e-mail:

**sashaqpnnet@mail.ru; Абанин Виктор Алексеевич – д.т.н., профессор, доцент, кафедры методов средств измерений и автоматизации**