УДК 539.3

ОБУЧЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ СЛОЖНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ЕЕ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ

к.т.н. [1]**Миронов Д.Н.,** к.т.н. [2]**Гончаренко В.П.**

[1]*Белорусский национальный технический университет, Минск*

[2]*УО «Военная академия Республики Беларусь», Минск*

В последнее время нейронным сетям, с целью создания самообучающихся (интеллектуальных) систем, уделяется повышенное внимание. Наиболее сложной задачей, является задача самообучения нейронной сети подобно человеческому мозгу [1, 2, 3, 4]. Решение данной задачи будет прорывом в науке и позволит создать искусственный интеллект.

В работе стоит задача создать самообучающуюся нейронную сеть деталей механической системы, которая будет определять ее состояние (готовность) [5, 6, 7, 8].

Для разработки алгоритма обучения нейронной сети возьмем единицу объема материала (рис. 1), который смоделируем в виде масс (рис. 2), связанных между собой упругими структурами (пружинами).

Каждая масса соединена с соседними массами упругими связами, которые смоделированы пружинами. Каждая единица массы удерживается шестью пружинами, которые позволяют каждой массе совершать пространственные колебания в пределах упругих деформаций пружин [9]. Своими колебаниями каждая масса через упругие связи вызывает колебания соседних масс.

Первоначально, новое исправное изделии без брака и нарушений сплошности материала деталей воспринимает нагрузку и обеспечивает надежность механической системы. Такое состояние материала примем за идеальное. Но в процессе изготовления деталей сложных механических систем на этапах их отливки, варки и обработки, в деталях образуются пустоты, неоднородности, механические повреждения, которые в последующим влияют на эксплуатацию механических систем и срок их службы.

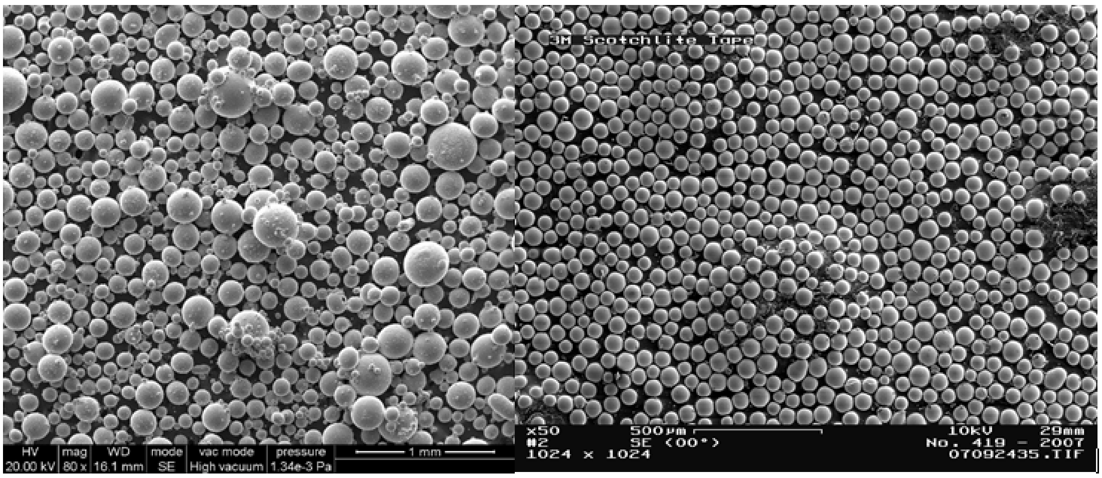


Рис. 1. Модель единицы объема материала

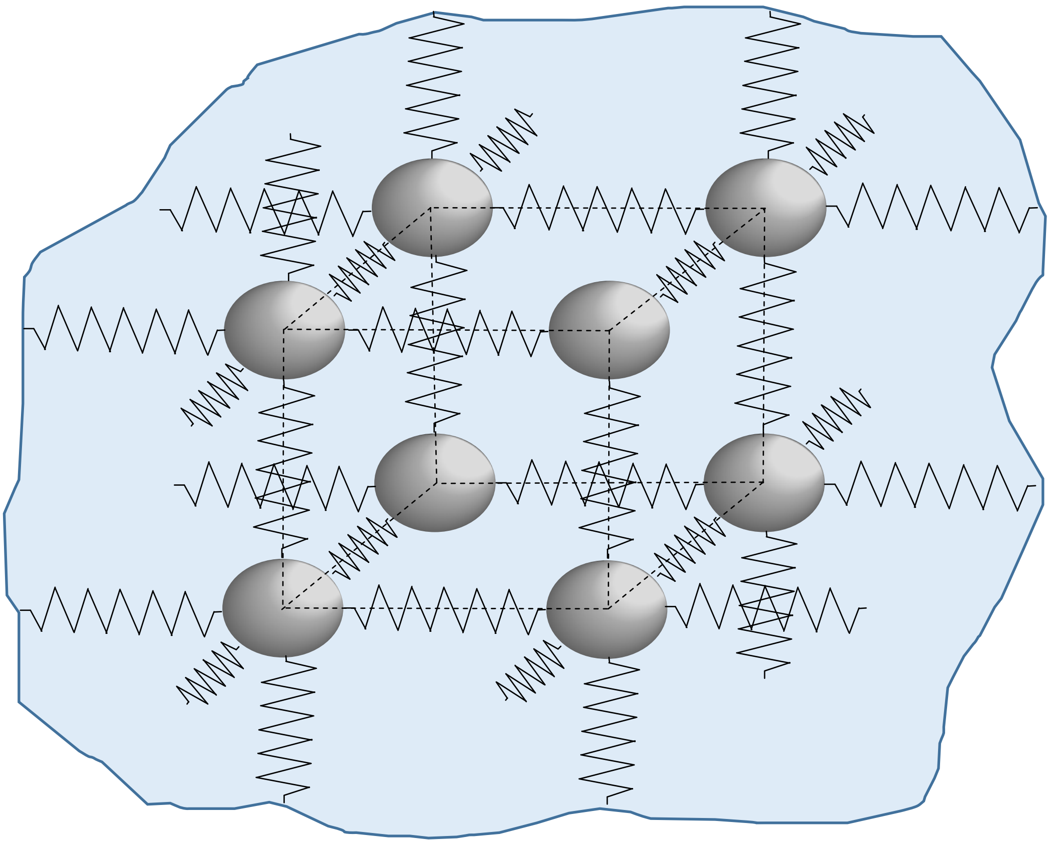
Каждая механическая система индивидуальна и рассматривать единый первоначальный облик для всех однообразных систем будет неправильно из-за возможных особенностей их изготовления или сборки: разное оборудование и их износ, уровень подготовки и стаж работы специалистов, качество поставляемых деталей и расходного материала, атмосферные и биологические факторы и т.д.

Поэтому для последующего обучения нейронных систем и оценки технического состояния сложных механических систем первоначальный ее облик (портрет) будем брать для каждой системы свой с учетом дефектов, которые она приобрела на этапах проектирования, создания, доработок и модернизации.

Модель единицы объема механической системы представленной на рис. 1 можно рассматривать как систему элементов соединенных параллельно. Разрыв одной из пружин, подобно параллельному соединению элементов электрической цепи, не приводит к разрушению (отказу) системы, но снижает ее надежность. Учитывая тот факт, что критическим порогом нарушения сплошности материала является достижение 25%. В связи с тем, что каждая масса крепится 6 упругими связями, механическая система считается работоспособной если разрушены не более одной связи.

Надежность механической системы будем рассчитывать с допущением, что система и любой ее элемент (пружина) находиться только в одном из двух возможных состояний – работоспособном и неработоспособном, и отказы элементов независимы. Состояние системы (работоспособное или неработоспособное) определяется состоянием элементов.

Такой метод (метод прямого перебора) [10] универсален и может использоваться для расчета надежности любой механической системы. Однако при большом количестве элементов системы N такой путь становится невозможным из-за большого объема вычислений. Но в нашем случае, для 6 пружин он может быть применен.



Риис. 2. Модель единицы объема материала

Систему, изображенную на рис. 2, представим как систему типа «5 из 6» – систему с параллельным соединением элементов, отказ которой произойдет, если из 6 пружин, соединенных параллельно, работоспособными окажутся не менее 5 любых пружин.

Для оценки надежности единицы объема механических систем составим таблицу 1 всех возможных состояний работоспособностей этой системы. Количество таких состояний можно определить по формуле $5^6 = 15625$. В таблице работоспособные состояния элементов системы отмечены знаком «+», неработоспособные – знаком «–», а ρ – вероятность безотказной работы (разрыва) пружины, q – вероятность разрыва пружины.

Таблица 1 – Возможные состояния работоспособности системы

№ сост.	Состояние пружин						Состояние системы	Вероятность состояния системы
	1	2	3	4	5	6		
1.	+	+	+	+	+	+	+	p^6
2.	-	+	+	+	+	+	+	$p^5q = p^5(1-p)$
3.	+	-	+	+	+	+	+	$p^5q = p^5(1-p)$
4.	+	+	-	+	+	+	+	$p^5q = p^5(1-p)$
5.	+	+	+	-	+	+	+	$p^5q = p^5(1-p)$
6.	+	+	+	+	-	+	+	$p^5q = p^5(1-p)$
7.	+	+	+	+	+	-	+	$p^5q = p^5(1-p)$
8.	-	-	+	+	+	+	–	$p^4q^2 = p^4(1-p)^2$
9.	-	+	-	+	+	+	–	$p^4q^2 = p^4(1-p)^2$
10.	-	+	+	-	+	+	–	$p^4q^2 = p^4(1-p)^2$
11.	-	+	+	+	-	+	–	$p^4q^2 = p^4(1-p)^2$
12.	-	+	+	+	+	-	–	$p^4q^2 = p^4(1-p)^2$
13.	+	-	-	+	+	+	–	$p^4q^2 = p^4(1-p)^2$
14.	+	-	+	-	+	+	–	$p^4q^2 = p^4(1-p)^2$

Окончание таблицы 1

15.	+	-	+	+	-	+	−	$p^4q^2 = p^4(1-p)^2$
16.	+	-	+	+	+	-	−	$p^4q^2 = p^4(1-p)^2$
17.	+	+	-	-	+	+	−	$p^4q^2 = p^4(1-p)^2$
18.	+	+	-	+	-	+	−	$p^4q^2 = p^4(1-p)^2$
19.	+	+	-	+	+	-	−	$p^4q^2 = p^4(1-p)^2$
20.	+	+	+	-	-	+	−	$p^4q^2 = p^4(1-p)^2$
21.	+	+	+	-	+	-	−	$p^4q^2 = p^4(1-p)^2$
22.	+	+	+	+	-	-	−	$p^4q^2 = p^4(1-p)^2$
23.	-	-	-	+	+	+	−	$p^3q^3 = p^3(1-p)^3$
24.	-	-	+	-	+	+	−	$p^3q^3 = p^3(1-p)^3$
25.	-	-	+	+	-	+	−	$p^3q^3 = p^3(1-p)^3$
26.	-	-	+	+	+	-	−	$p^3q^3 = p^3(1-p)^3$
27.	-	-	+	+	+	+	−	$p^3q^3 = p^3(1-p)^3$
28.	+	-	-	-	+	+	−	$p^3q^3 = p^3(1-p)^3$
29.	+	-	-	+	-	+	−	$p^3q^3 = p^3(1-p)^3$
30.	+	-	-	+	+	-	−	$p^3q^3 = p^3(1-p)^3$
31.	+	+	-	-	-	+	−	$p^3q^3 = p^3(1-p)^3$
32.	+	+	-	-	+	-	−	$p^3q^3 = p^3(1-p)^3$
33.	+	+	+	-	-	-	−	$p^3q^3 = p^3(1-p)^3$
	и так далее для трех, четырех, пяти разрушенных пружин							
15625	-	-	-	-	-	-	−	$q^6 = (1-p)^6$

Вероятность любого состояния единицы объема определяем по теореме умножения вероятностей как произведение вероятностей состояний, в которых пребывают элементы.

С учетом всех возможных состояний вероятность безотказной работы единицы объема найдем по теореме сложения вероятностей всех работоспособных сочетаний.

$$\mathrm{P}_{1\,\text{об}} = \mathrm{P}_1 + \mathrm{P}_2 + \mathrm{P}_3 + \mathrm{P}_4 + \mathrm{P}_5 + \mathrm{P}_6 + \mathrm{P}_7.$$

После подстановки значений имеем

$$\mathrm{P}_{1\,\text{об}} = p^6 + 6p^5 q = p^6 + 6p^5(1-p) = p^6 + 6p^5 - 6p^6 = -5p^6 + 6p^5. \quad (1)$$

Расчет надежности единицы объема можно произвести комбинаторным методом при использовании биномиального распределения [10]

$$P_{1\,\text{об}} = \sum_{i=k}^{n} \mathrm{C}_n^i p^i (1-p)^{n-i},$$

где n – количество всех пружин, которые крепятся к массам; k – количество пружин достаточных для нормального функционирования системы; $\mathrm{C}_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$ – биноминальных коэффициент.

Подставив значения имеем:

$$\mathrm{C}_6^5 = \frac{6!}{5!1!} = 6,\ \mathrm{C}_6^6 = \frac{6!}{6!} = 1,$$

$$P_{1\,\text{об}} = 6p^5(1-p) + p^6(1-p)^0 = 6p^5 - 6p^6 + p^6 = -5p^6 + 6p^5. \quad (2)$$

В результате двух способов получены идентичные зависимости (1) и (2) для расчета вероятности безотказной работы единицы объема материала силового элемента, которые ложатся в основу функции обучения нейронной сети. Для расчета значения вероятности разрушения силового элемента, необходимо, используя одну из представленных выше методик, проведя эксперимент по уменьшению поперечного сечения до ¾ от своего первоначального значения. Эксперимент можно произвести путем циклического нагружения, имитируя полет или путем наблюдения и обследования за эксплуатирующимися летательными аппаратами. Используя полученные результаты можно с определенной степенью точности прогнозировать вероятность разрушения силовой системы (детали, агрегата) и с помощью нейронной сети постоянно отслеживать ее состояние.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хемминг, Р.В. Численные методы / Р.В. Хемминг. – М.: Наука, 1972. – 138 с.

2. Ишлинский, А.Ю. Математическая теория пластичности / А.Ю. Ишлинский, Д.Д. Ивлев. – М.: Физматлит, 2001. – 702 с.

3. Микулик, Н.А. Решение технических задач по теории вероятностей и математической статистике: Справочное пособие / Н.А. Микулик, Г.Н. Резина. – Мн.: Высшая школа, 1991. – 163 с.

4. Микулик, Н.А. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для технических специальностей / Н.А. Микулик, А.В. Метельский. – Мн.: НПООО "ПИОН", 2002. – 191 с.

5. Бородич, Л.И. Справочное пособие по приближенным методам решения задач высшей математики / Л.И. Бородич [и др.]. – Мн.: Высшая школа, 1986. – 186 с.

6. Чигарев, А.В. Основы системы Mathematica 4.0. Задачи и решения / А.В. Чигарев, А.С. Кравчук. – Мн.: УП "Технопринт", 2002. – 149 с.

7. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов: 4- е изд. / В.Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 1972. – 368 с.

8. Зуев, В.В. Об ударном нагружении мишени из композиционных материалов. Расчеты на прочность / В.В. Зуев // – М.: Машиностроение, 1989. – № 30. – С. 148–155.

9. Надежность технических систем и техногенный риск : учеб. пособие: в 2 ч. / А. Б. Корчагин, В. С. Сердюк, А. И. Бокарев. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011.