

УДК 629.735.33.015

## ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ГИПЕРЗВУКОВОЙ АЭРОДИНАМИКЕ

Хлопков Ю.И.

*ФГУП ЦАГИ «Центральный Аэрогидродинамический Институт им. Жуковского»,  
Жуковский, e-mail: khlopkov@falt.ru;*

*ФГОУ ВПО «Московский физико-технический институт (государственный университет)», Москва*

В настоящей работе представлены строения биологического мозга человека и искусственных нейронных сетей. Архитектуры искусственных нейронных сетей базируется на моделировании структуры головного мозга человека. Применение нейронных сетей на этапе проектирования гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА) позволяет существенно повысить достоверность оценки характеристик устойчивости и управляемости ГЛА. Целью работы является применение принцип биологических работ человеческого мозга для моделирования искусственного интеллекта в интересах гиперзвуковой аэрокосмической отрасли.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, искусственные нейронные сети, нервная система, аэрокосмическая техника, гиперзвуковые летательные аппараты

## APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK IN HYPERSONIC AERODYNAMICS

Khlopkov Y.I.

*Central Aerohydrodynamic Institute (TsAGI), Zhukovsky, e-mail: khlopkov@falt.ru;  
Moscow Institute of Physics and Technology (State university), Moscow*

In the present paper, structures of a biological brain of the human and artificial neural networks are presented. The artificial intelligence was interdisciplinary science, being at the same time both science and art, both equipment and psychology. Architecture of artificial neural networks is based on modeling of structure of a brain of the human. Application of neural networks at a design stage of the hypersonic aircrafts allows increasing significantly reliability of an assessment of characteristics of stability and controllability of vehicle. The purpose of this work is the application and the principle of biological works of a human brain for modeling of artificial intelligence in interests of hypersonic aerospace branch.

**Keywords:** artificial intelligence, artificial neural networks, nervous system, aerospace technology, hypersonic vehicles

В середине прошлого века компьютеры шумно вмешались в эволюцию человеческой цивилизации, причем это вторжение оказалось настолько громким, что резко изменило ход самой эволюции. Несмотря на великие социальные потрясения двух мировых войн, великие потрясения, связанные с научно-технической революцией, всего лишь частью которой является компьютеризация, влияние компьютеров по масштабам превосходит, упомянутые выше факторы. Начавшись с двух явлений, с которыми до этого человеческая цивилизация не встречалась – создания оружия чудовищной силы и выхода за пределы земной колеблели – за невероятно короткий срок компьютеры проникли во все поры существования человеческой цивилизации. Если создание атомной бомбы и выход в космос дело рук в первую очередь ученых, все-таки избранной касты людей, то когда компьютер стал управлять жизнеустройством быта практически каждой семьи, то компьютер стал своеобразным инструментом, усилившим, практически скачком, интеллектуальные способности человека на много-много порядков ( $\sim 10^{17}$ ). Осмыслить подобного рода явление в масштабах времени существования человеческой цивилизации ( $\sim 10^{12}$  с),

пока не представляется возможным. Тем не менее, это позволяет изучать тонкие физические и химические процессы, использовать энергию, заключенную в ядрах вещества, рассчитывать траектории космических кораблей, исследовать экологию среды обитания людей, прогнозировать климатические и геополитические движения. Несмотря на фантастическое превосходство в причинно-следственной логике компьютера над человеком ( $\sim 10^{17}$ ), победа экса- и, тем более, пета- флопного компьютера даже в такой сверхлогической игре, как шахматы, над обычным гроссмейстером часто бывает проблематичной. Совмещение особенностей человеческого мышления с мощностью компьютерных технологий – это, пожалуй, наиболее перспективное направление создания искусственного интеллекта.

Целью настоящей работы является применение принцип биологических работ человеческого мозга для моделирования искусственного интеллекта в интересах гиперзвуковой аэрокосмической отрасли.

### Принцип работы биологического нейрона

Нервная система регулирует и координирует все функции организма в его вза-

имодействии с внешней средой. Нервная система делится на центральную, представленную головным и спинным мозгом, и периферическую, которая включает нервы и нервные узлы (рис. 1) [10]. В современной медицине существует единая классификация заболеваний нервной системы, составленная по принципу влияния и воздействия на центральную нервную систему таких факторов, как травмирование (различного рода переломы, электротравмы и т.д.), наследственность, осложнения после перенесенных тяжелых болезней и т.д. Перечисленные причины являются основными, поскольку так или иначе влияют на возникновение и развитие того или иного заболевания нервной системы. На сегодняшний день статистикой отмечены такие самые распространённые заболевания нервной системы: неврозы, мозговой инсульт, энцефалит, эпилепсия, менингит, полиомиелит, неврит, радикулит и др. Поскольку практически все заболевания центральной нервной системы протекают и лечатся довольно сложно, то во многих случаях питание больных требует соблюдения специальных диет. Многие врачи считают составление определенных диет для таких больных делом достаточно сложным, что связано с тяжелым течением нервных болезней. В целом нервная система представляет собой единый комплекс, которого осуществляется работа согласованно и, соответственно, последовательно (для конкретной ситуации). Кроме того, поскольку мозг является центром нервной системы, то все процессы, происходящие в нем, очень трудно контролируются человеком.

Головной мозг человека – это необыкновенно сложный биологический аппарат, который крайне трудно поддается исследованию. Ни один обитатель нашей Земли не сможет дать точный ответ о том, как работает и как устроен человеческий мозг. Сверху мозг покрыт корой, которая имеет множество борозд и извилин. Кора представляет собой нервную ткань, состоящую из нервных клеток (нейронов). Кора выполняет самую важную функцию в человеческом организме.

Сгенерированная информация в органах чувств поступает к коре при помощи нервных импульсов и сигналов, имеющих химический характер. Обработанная информация отсылается обратно и является фактором действия различных участков тела. Больше семидесяти процентов массы человеческого мозга приходится на два больших полушария. Правое занимается конкретным образным мышлением, а ле-

вое – логическим. Если левое займется психикой, то у человека будет счастливое и веселое настроение, он превратится в оптимистичного, приветливого и жизнерадостного человека. Если же в этом процессе будет преобладание правого полушария, то человек будет депрессивным и раздражительным, с вспышками агрессии и гнева. Фундаментальными строительными кирпичиками нервной системы человека является нейрон – самая длинная клетка нашего организма. Нервная система человека насчитывает до 15 млрд нейронов. Нейрон является особой биологической клеткой, которая обрабатывает информацию. Она состоит из тела клетки или сомы и двух типов внешних древовидных ветвей: аксона и дендритов (рис. 2). Тело клетки включает ядро, которое содержит информацию о наследственных свойствах и плазму, обладающую молекулярными средствами для производства необходимых нейрону материалов. Нейрон получает импульсные сигналы от других нейронов через дендриты (приемники) и передает сигналы сгенерированные телом клетки вдоль аксона (передатчик). Аксон в конце разветвляется на волокна, на окончаниях которых находятся синапсы. Синапс – единственный путь, с помощью которого нейроны могут общаться друг с другом и обеспечивать все основные проявления активности нервной системы. В синапсы входят пресинаптическая часть или синаптическое окончание, синаптическая щель, разделяющая две клетки и постсинаптическая часть [11].

Когда импульс достигает синаптического окончания, высвобождаются определенные химические вещества, называемые нейротрансмиттерами. Нейротрансмиттеры диффундируют через синаптическую щель, возбуждая или затормаживая в зависимости от типа синапса способность нейрона – приемника генерировать электрические импульсы. Результативность синапса может настраиваться проходящими через него сигналами, так что синапсы могут обучаться в зависимости от активности процессов, в которых они участвуют.

Эта зависимость от предыстории действует как память, которая, возможно, ответственна за память человека. Нейроны взаимодействуют посредством короткой серии импульсов, как правило, продолжительностью несколько мсек. Сообщения передаются посредством частотно-импульсной модуляции. Частота может меняться от нескольких единиц до сотен герц, что в миллиарды раз медленнее, чем самые быстроедействующие переключаемые электронные схемы.

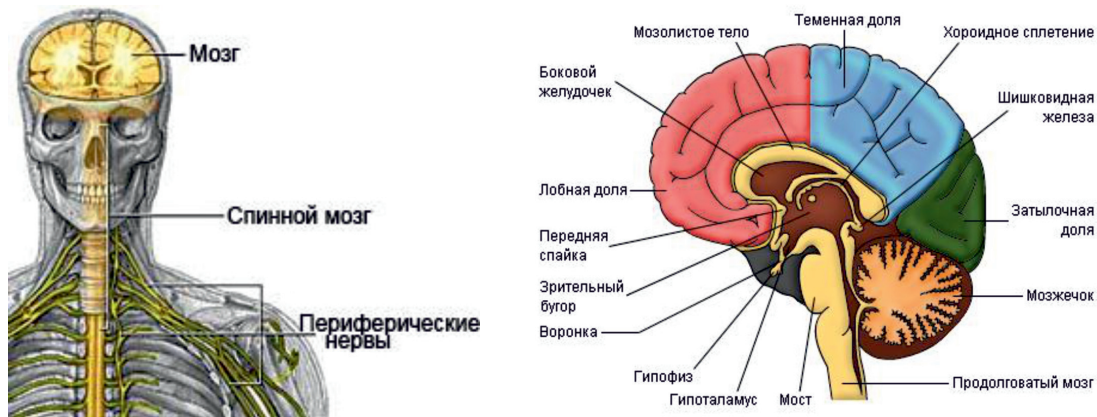


Рис. 1. Нервная система и строение мозга человека

Тем не менее, сложные решения по восприятию информации, как например, распознаванию лица, человек принимает за несколько сотен мсек. Эти решения контролируются сетью нейронов, которые имеют скорость выполнения операций всего несколько мсек. Это означает, что вычисления требуют не более 100 последовательных стадий. Другими словами, для таких сложных задач мозг «запускает» параллельные программы, содержащие около 100 шагов. Это известно, как правило, ста шагов. Количество информации, посылаемое от одного нейрона другому тоже очень мало – несколько бит. Отсюда следует, что основная информация не передается непосредственно, а захватывается и распределяется в связях между нейронами. Этим объясняется такое название как коннекционистская модель (connection – связь), применяемое к модели описывающей способ хранения информации в биологических нейронных сетях.

**Концепция искусственных нейронных сетей**

Важной чертой искусственных нейронных сетей (ИНС) является то, что в силу конструктивных особенностей они позволяют успешно решать задачи с большим количеством переменных, не требуя большого количества вычислительных ресурсов [3–5]. ИНС можно рассматривать как направленный граф со взвешенными связями, в котором узлами являются некоторые элементарные процессоры называемые искусственными нейронами. Устройством этих процессоров согласно коннекционистскому подходу должно быть достаточно простым и обычно выбирается следующим (рис. 3) [8].

Здесь наблюдается определенная аналогия с биологическим нейроном: входные и выходной каналы имитируют дендриты

и аксоны, веса связей соответствуют синапсам, а функция активации отражает активность сомы.

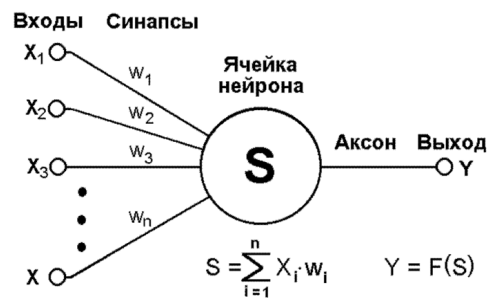


Рис. 2. Искусственный нейрон

В математическом контексте можно сказать, что нейрон осуществляет отображение  $R^n \rightarrow R$  в соответствии с соотношением для его выхода:

$$y = F \left( \sum_{i=0}^n w_i \cdot x_i \right)$$

где  $x_1, \dots, x_n$  – входы нейрона,  $w_1, \dots, w_n$  – весовые коэффициенты синаптических связей нейрона. При этом  $x_0 = -1$ , а  $w_0$  – пороговый уровень нейрона.  $F(x)$  – функция, вычисляющая выходной сигнал искусственного нейрона (функция активации, функция возбуждения). Выходной сигнал NET ( $NET = x_i w_i$ ) далее, как правило, преобразуется активационной функцией  $F$  и дает выходной нейронный сигнал OUT (Y). Активационная функция может быть обычной линейной функцией  $OUT = K(NET)$ , где  $K$  – постоянная, пороговой функции, которой выводит 1, когда входные данные являются положительными, и 0 – в противном случае. В качестве нелинейного преобразователя в искусственных нейронных сетях

обычно используются сигмоидные функции и функции гиперболического тангенса.

Главное в нейронной сети это архитектура связей и весовые коэффициенты соответствующие этим связям. Архитектура связей это то, каким образом из отдельных нейронов сформирована сеть. Нейросеть, также как и биологический аналог, должна иметь каналы для связи с внешним миром. Одни каналы обеспечивают поступление информации из внешнего мира на нейросеть, другие выводят информацию из нейросети во внешний мир. Поэтому одни нейроны сети рассматриваются как входные, другие же – как выходные. Ее можно

формировать как угодно, лишь бы входы нейронов получали какие-нибудь сигналы. Однако обычно используется несколько стандартных архитектур. Точнее мы остановимся на двух классах архитектур:

- а) сети прямого распространения, в которых графы не имеют петель;
- б) рекуррентные сети, или сети с обратными связями.

Среди сетей первого класса наиболее распространены так называемые многослойные перцептроны: входные сигналы, скрытые слоя, выходные сигналы. Подробнее архитектура схема ИНС можно познакомиться в работе [1, 8].

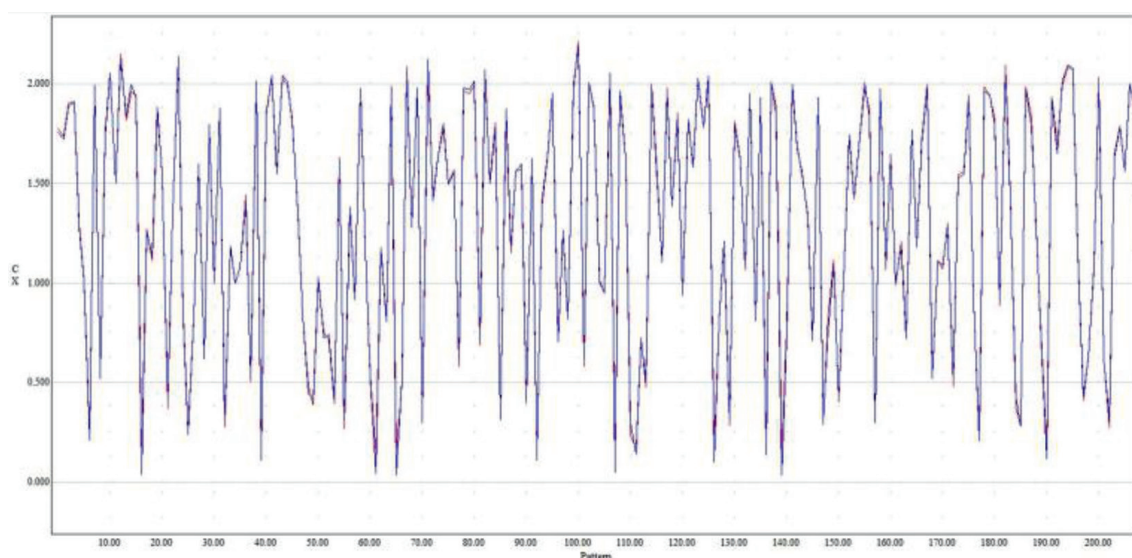


Рис. 3. Обучение нейронных сетей для  $C_x$

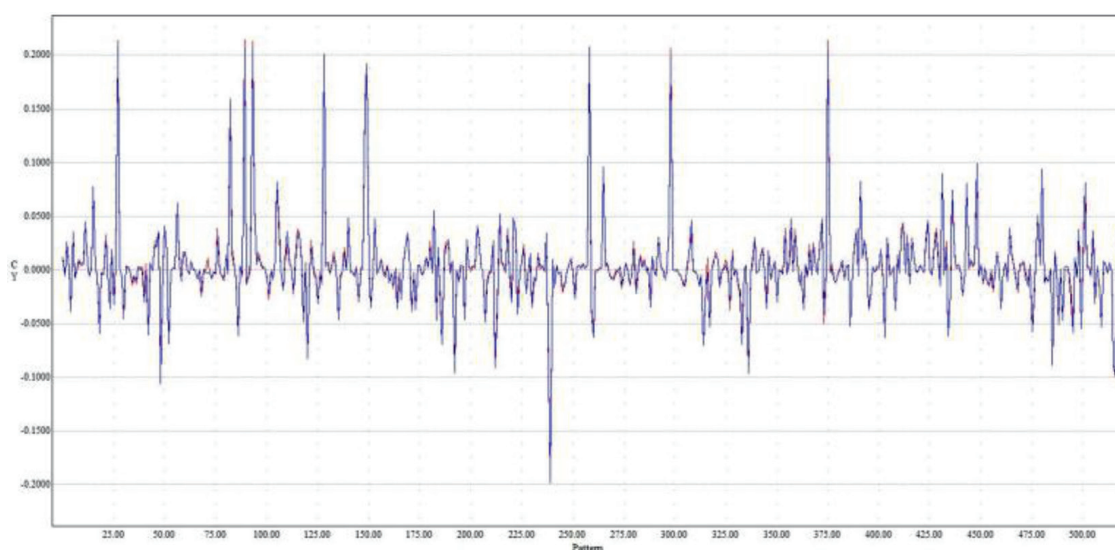


Рис. 4. Обучение нейронных сетей для  $C_y$

### Использование искусственных нейронных сетей в гиперзвуковой аэродинамике

В работе [1] подобный подход успешно использовано для вычисления коэффициента максимальной подъемной силы профилей крала летательного аппарата. В данной работе предлагается применение искусственных нейронных сетей для эффективного определения аэродинамических характеристик (АДХ) гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА). В качестве входных сигналов проведен параметрический расчет АДХ треугольника в гиперзвуковом течении. Геометрия треугольника условно имитирует форму ГЛА. Для вычисления АДХ обтекаемых тел использовалась, разработанная в МФТИ и ЦАГИ и хорошо зарекомендовавшая себя для подобных задач информационная технология АДАНАТ (Аэродинамический Анализ в обеспечение создания Аэрокосмической Техники) [9]. В качестве элементов АДАНАТ включает в себя методику решения кинетических уравнений методами статистического моделирования (Монте-Карло [6]), решение уравнений сплошной среды (АРГОЛА-2), когнитивные методы [2]. На результатах расчета АДХ ГЛА, которые представлены в книге [7] проводится обучение предложенной нейронной сети.

Нейронная сеть построена с 4 входными сигналами, 1 выходным, и скрытым слоями. Параметры для входов поставлены следующие: угол треугольника  $\theta$  от 15 до 60 шагом 15; скоростное отношение  $s$  от 5 до 30 шагом 5; угол атаки  $\alpha$  от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$  шагом  $3^\circ$ , температурный фактор  $t_w = 0,0001, 0,001, 0,01, 0,1, 1$ . Параметры для выходов: коэффициенты силы сопротивления  $C_x$ , подъемной  $C_y$ .

На рис. 3 и 4 представлены результаты моделирования  $C_x$ ,  $C_y$  нейронной сетью. Для обучения  $C_x$  использовалась нейронная сеть с одним скрытым слоем с 14 нейронами. Функция активации у нейронов в скрытом слое были тангенциальными, в выходном – линейные, такие же типы функций использовались в остальных задачах. Величина обучающего множества составила 2000 образцов, остальные образцы 2392 использовались в качестве тестируемого множества.

Графические результаты работы обученных нейронных сетей для  $C_x$  показаны на рис. 5. Можно видеть, что значения ошибок среднеквадратичных 0.0259 и средне-абсолютных 4.1%. Для обучения  $C_y$  использовалась нейронная сеть с двумя скрытыми слоями с 7 и 5 нейронами. Графические ре-

зультаты работы обученных нейронных сетей для  $C_y$  на рис. 5. Можно видеть, что значения ошибок среднеквадратичных 0,0025 и средне-абсолютных 6,4%.

### Заключение

В данной научно-исследовательской работе показана перспективность использования биологического особенности человеческого мозга на моделировании искусственного интеллекта в интересах гиперзвуковой аэрокосмической отрасли. Применение нейронных сетей на этапе проектирования ГЛА позволяет существенно повысить достоверность оценки характеристик устойчивости и управляемости ГЛА, что делает возможным сократить затраты на создание систем за счет уменьшения затрат на натурные испытания и трудоемкие вычисления [12].

*Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (Проект № 14-11-00709).*

### Список литературы

1. Дорофеев Е.А., Дынников А.И., Каргопольцев А.В., Свириденко Ю.Н., Фаддеев А.С. Методика оценки пилотажных характеристик самолета с использованием искусственных нейронных сетей // Ученые записки ЦАГИ. – 2007. – Т. XXXVIII, № 1–2. – С. 112–117.
2. Зяя Мью Мьинт, Хлопков А.Ю. Когнитивный подход при решении задач гиперзвукового обтекания // Труды МАИ. – 2013. – № 66. – 17 с.
3. Кирдин А.Н., Горбань А.Н., Дунин-Барковский В.Л. Нейроинформатика. – Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 1998.
4. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики (перцептрон и теория механизмов мозга). – М.: Мир, 1965.
5. Терехов С.А. Типовые задачи для информационного моделирования с использованием нейронных сетей. – Снежинск, декабрь 2000.
6. Хлопков Ю.И. Статистическое моделирование в числительной аэродинамике. – М.: МФТИ, 2006.
7. Хлопков Ю.И., Чернышев С.Л., Зяя Мью Мьинт, Хлопков А.Ю. Введение в специальность II. Высокоскоростные летательные аппараты. – М.: МФТИ, 2013.
8. Хлопков Ю.И., Дорофеев Е.А., Зяя Мью Мьинт, Поляков М.С., Хлопков А.Ю., Агаева И.Р. Разработка нейронных сетей для расчета аэродинамических характеристик высокоскоростных летательных аппаратов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11(9). – С. 1834–1840.
9. Хлопков Ю.И., Ткаченко В.В., Воронич И.В., Зяя Мью Мьинт. Проект информационной технологии «АДАНАТ» // Материалы международной научно-практической конференции «Наука и технологии в современном обществе». – Уфа, 2014. – С. 64–67.
10. Первая медицинская помощь. – М.: Большая Российская Энциклопедия, 1994.
11. Abeyratne U.R., Kinouchi Y., Oki H. et al. Artificial neural networks for source localization in the human brain // Brain Topogr. – 1991. – Vol. 4, № 1. – P. 3–21.
12. Khlopkov Yu.I., Dorofeev E.A., Zay Yar Myo Myint, Khlopkov A.Yu., Polyakov M.S., Agayeva I.R. Application of Artificial Neural Networks in Hypersonic Aerospace System // Applied Mathematical Sciences. – 2014. – Vol. 8, № 95. – P. 4729–4735.