

# УПРАВЛЕНИЕ РОБОТАМИ И МЕХАТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

## О нейросетевом управлении

*Нейросетевое управление (или нейроуправление) (Neurocontrol)* представляет собой частный случай интеллектуального управления, при котором для управления динамическими объектами, например, роботами и мехатронными системами, используются *искусственные нейронные сети*.

**Искусственные нейронные сети (ИНС) (Neural network)** ИНС представляют собой систему соединённых и взаимодействующих между собой простых процессоров, представляющих собой *искусственные нейроны*.

ИНС имеет дело только с *сигналами*. Каждый искусственный нейрон сети периодически получает извне или от других нейронов сигналы, которые он перерабатывает в другие сигналы и периодически посылает их другим нейронам.

ИНС обладают рядом *свойств*, которые делают их мощным инструментом для создания систем управления. Они способны к *обучению*, могут *адаптироваться* к изменению свойств объекта управления и внешней среды, пригодны для создания высокоэффективных *нелинейных регуляторов, устойчивы к повреждениям* своих элементов, поскольку их архитектура основана на параллелизме.

*Примерами* успешного применения искусственных нейронных сетей для управления являются

- управление летательными аппаратами (самолетами и вертолетами);
- управление мобильными роботами и автоматически работающими автомобилями;
- управление частотой вращения вала электропривода;
- управление гибридными двигателями автомобилей;
- управление объектами вооружения;
- управление перевернутым маятником.

В системах управления ИНС могут применяться в виде нейроконтроллеров и нейроэмуляторов.

Нейроконтроллеры реализуют интеллектуальное управление сложными динамическими и статическими объектами.

Нейроэмуляторы имитируют динамическое поведение объекта управления в целом или его отдельные характеристики, трудно поддающиеся математическому моделированию.

Следует отметить, что искусственная нейронная сеть, образующая нейроконтроллер, сильно отличаются от того, что обычно понимают под математической моделью некоторого динамического объекта, например, регулятора.

*Аналитическая форма представления знаний ей недоступна.* Но она способна запомнить и обобщить конкретные эмпирические зависимости, причём речь идёт не о запоминании данных в табличном виде. В результате целенаправленного изменения структуры и значений параметров связи элементов нейронная сеть оказывается в состоянии запомнить, а потом воспроизвести динамическое поведение в ситуациях, которые ей известны или близки к тем ситуациям, которые были при её обучении.

Поэтому при построении нейронной сети не применяется аналитический подход. Происходит *параметрическая оптимизация* некоторой шаблонной структуры. При этом объект, система исследуется целиком и в тех реальных режимах, которые интересны с практической точки зрения, а задача формулируется для всей искусственной нейронной сети в целом.

Не представляет интереса вопрос о том, какому гипотетическому поведению объекта соответствует активность одного из нейронов и какой физический смысл приобретают в этом случае значения параметров, характеризующих связи между элементами ИНС.

## **Основы искусственных нейронных сетей**

### **О биологическом прототипе**

Развитие искусственных нейронных сетей в значительной степени, особенно на начальных этапах их развития, основывалось на знаниях в области *биологии* и, прежде всего, на знаниях *о работе человеческого мозга*.

Конфигурации сетей и алгоритмы их функционирования разработчики строили, оперируя понятиями и терминами, характерными для исследователей **мозговой деятельности человека**.

Следует отметить, прежде всего, колоссальную сложность нервной системы человека, построенной из элементов, называемых **нейронами**. Человеческий мозг состоит примерно из **ста миллиардов** нейронов. Считается, что в среднем каждый нейрон связан примерно с 1000 других нейронов. Но **в коре головного мозга** плотность нейронных связей значительно выше. Всего нейроны образуют примерно **тысячу триллионов** передающих связей.

Уникальной способностью нейронов является прием, обработка и передача **электрохимических сигналов** по нервным путям, которые образуют коммуникационную систему мозга.

Фрагмент схемы нервных клеток головного мозга человека представлен на рис.Н0.

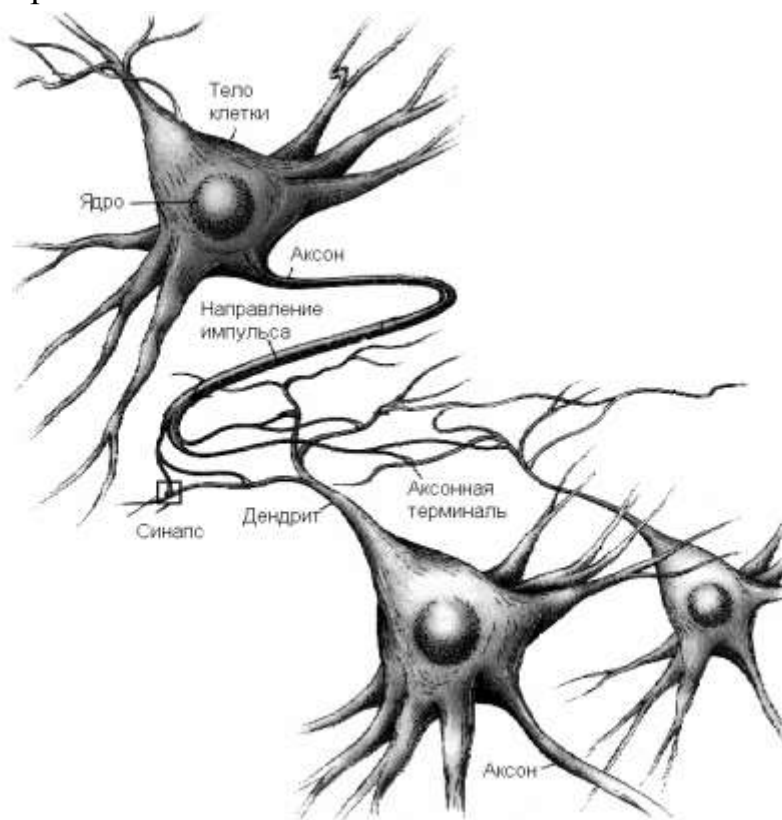


Рис. Н0. Ансамбль нервных клеток головного мозга человека

Нейрон имеет элементы для приёма сигналов (**синапсы**) и элемент для выдачи сигнала (**аксон**). Дендриты идут от тела нервной клетки к другим нейронам, от которых они принимают сигналы в точках соединения. Эти точки называются синапсами. Принятые синапсом входные сигналы

подводятся к телу нейрона. Здесь они **суммируются**, причем одни входы стремятся возбудить нейрон, другие – воспрепятствовать его возбуждению. Когда суммарное возбуждение в теле нейрона превышает некоторый **порог**, нейрон **возбуждается**, посылая по аксону сигнал другим нейронам.

Информация передается по аксонам в виде **коротких электрических импульсов**, амплитуда которых составляет около 100 мВ, а длительность 1 мс. Быстродействие нейронов невелико, и максимальная частота генерации импульсов не превышает 200 Гц.

Свойства клеток головного мозга не исчерпываются приведённым выше перечнем. Он намного шире. Но это то основное, что характеризует наиболее важные особенности процессов получения, переработки и запоминания информации, что важно для построения искусственных нейронных сетей.

В упрощённом виде архитектуру головного мозга можно представить как **многослойную сеть** (рис. Н0+).

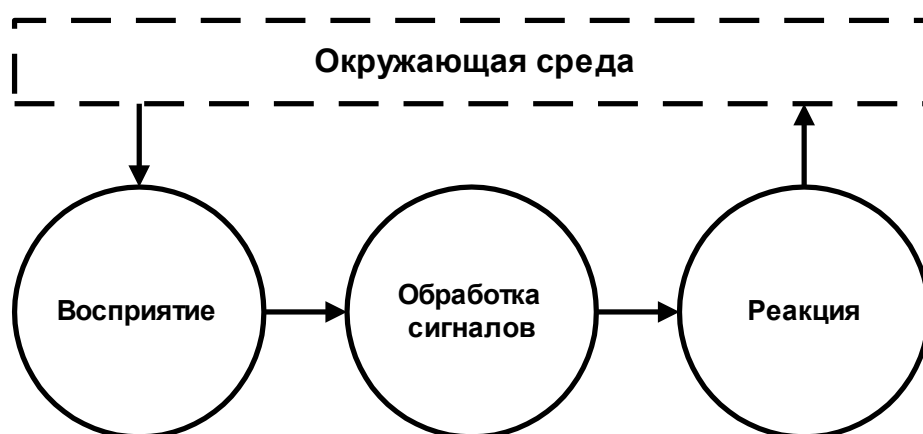


Рис. Н0+. Упрощённая архитектура головного мозга в виде многослойной сети

**Внешний слой** этой сети служит для восприятия органами чувств воздействий со стороны окружающей среды. Он принимает сигналы от **сенсоров** и передаёт их в виде импульсов в средний слой. **Средний слой**, характеризующий работу коры головного мозга, обрабатывает импульсы, посылая результаты обработки в выходной слой. **Выходной слой** формирует реакции организма, в частности, воздействия на окружающую среду.

## Искусственный нейрон и искусственная нейронная сеть

ИНС имитируют работу мозга. Они формируются как некоторая структура, состоящая из взаимодействующих друг с другом искусственных нейронов. Эти искусственные нейроны моделируют описанные выше основные свойства клеток головного мозга человека. Однако следует признать, что наши знания о работе мозга ограничены. Также ограничены и технические возможности средств, с помощью которых можно было бы попытаться «повторить» человеческий мозг. Поэтому стремление к построению эффективных искусственных нейронных сетей, выполняющих полезные функции, приводит часто к *отказу от биологического правдоподобия*.

История создания ИНС начинается в 1943 году. В это время исследователи [Уоррен Мак-Каллок](#) и [Уолтер Питтс](#) предложили понятие искусственной нейронной сети и разработали модель искусственного нейрона, названного «*пороговым логическим нейроном*». Они показали, что любая функция, которая может быть вычислена на ЭВМ, может быть также вычислена сетью нейронов.

Можно дать такое *определение искусственной нейронной сети*:

**ИНС** – это распределенный процессор, основанный на одновременно работающих параллельных структурах, который обладает способностью к сохранению и репрезентации опытного знания.

Такая искусственная сеть сходна с мозгом в двух аспектах:

1. Знание приобретается сетью в процессе *обучения*;
2. Для сохранения знания используются межнейронные связи с определёнными и зафиксированными в процессе обучения коэффициентами передачи, называемыми *синаптическими весами*.

Каждый искусственный нейрон характеризуется своим *состоянием*. Оно может быть возбуждённым или заторможенным. Искусственный нейрон, также как и натуральный нейрон, обладает группой *синапсов*, представляющих собой однонаправленные входные связи, и имеет один выход, который называется *аксон*. Он используется для передачи выходного сигнала данного нейрона на входы других нейронов.

Каждый синапс нейрона, имеющего несколько, например,  $N$  входов, характеризуется *весом*  $w_i$ , который можно рассматривать как коэффициент

усиления сигнала, поступающего по  $i$ -му входному каналу связи, причём  $i = 1, 2, \dots, N$ . Этот коэффициент называют **синаптическим весом**. Значения этих весовых коэффициентов зависят от решаемой задачи. Поэтому они определяются **в процессе обучения** ИНС решению конкретной поставленной задачи.

Сигналы  $u_1, u_2, \dots, u_N$ , поступающие в нейрон по входным цепям, суммируются. Поэтому текущее состояние  $x$  нейрона, имеющего  $N$  входов, определяется как взвешенная сумма его входов

$$x = \sum_{i=1}^N w_i u_i .$$

Иногда более удобным представляется несколько иная форма описания состояния нейрона. Вводится ещё один вход с номером 0 и весом  $w_0$ , на который подаётся независимое входное воздействие  $u_0 = -1$ . Тогда текущее состояние нейрона характеризуется уравнением

$$x = \sum_{i=0}^N w_i u_i .$$

Произведение  $w_0 u_0 = -x_0$  представляет собой заданное значение, определяющее **порог срабатывания нейрона**.

Именно такую структуру искусственного нейрона предложили Мак-Каллок и Питтс (рис. Н1).

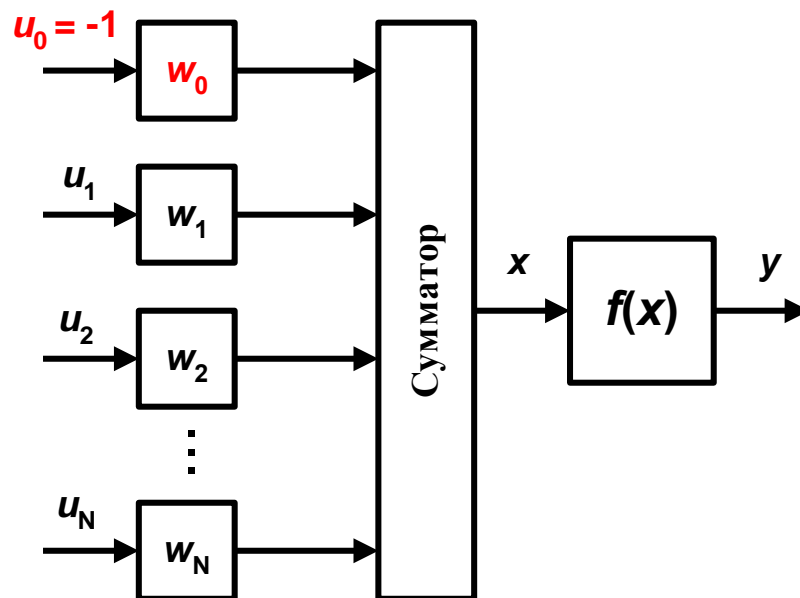


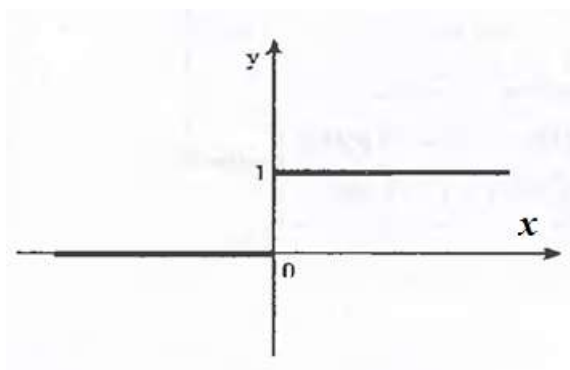
Рис. Н1. Структура искусственного нейрона

Величина  $y$  на выходе нейрона формируется как *нелинейная функция его состояния*

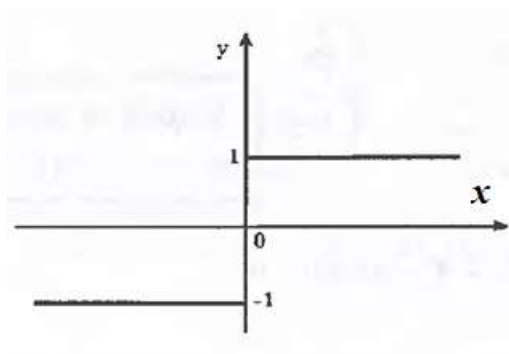
$$y = f(x).$$

Эта функция называется *активационной* и может иметь различный вид. Например, она может быть одной из представленных ниже *существенно нелинейных функций*:

Униполярная функция активации  $f(x) = 0,5[\text{sign}(x) + 1]$

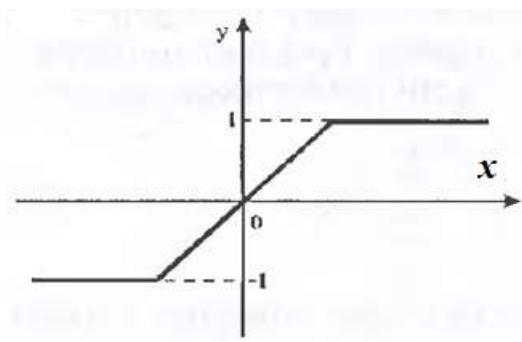


Биполярная функция активации  $f(x) = \text{sign}(x)$



Биполярная функция активации с линейной зоной

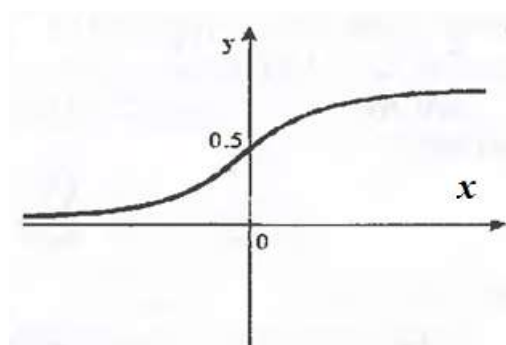
$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{при } x > 1, \\ -1 & \text{при } x < -1, \\ x & \text{при } |x| < 1. \end{cases}$$



Могут применяться гладкие и потому дифференцируемые активационные функции:

сигмоидальная функция

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\beta x}}$$





функция гиперболического тангенса

$$f(x) = th(bx/2) = \frac{1 - e^{-bx}}{1 + e^{-bx}}$$

