

С. Е. Барыкин

канд. экон. наук, доцент кафедры экономики и организации управления в энергетике Санкт-Петербургского энергетического института повышения квалификации

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ДЕНЕЖНЫХ СРЕДСТВ КОРПОРАЦИИ

Понятие нейронных сетей управления запасами денежных средств

Под нейронными сетями управления запасами денежных средств будем понимать вычислительные структуры, использующие для обработки сигналов, характеризующих состояние денежного остатка, явления, аналогичные происходящим в нейронах живых существ и обычно ассоциируемые с процессами человеческого мозга. В процессе моделирования используются следующие важные свойства нейронной сети:

- 1) параллельная обработка информации всеми звеньями сети;
- 2) способность сети к обучению;
- 3) накопление нейронной сетью знаний.

В процессе построения нейронной сети управления запасами денежных средств используются сумматоры, синапсы и нейроны, объединяемые для решения поставленных задач. Стандартные архитектуры нейронных сетей, используемые в анализе финансовых рынков, рассмотрены в работе (Ширяев, 2007).

Формирование структуры нейронной сети управления запасами денежных средств может быть описано следующим образом. Системе управления денежными запасами ставится в соответствие некоторое множество элементов объекта управления, переменных, описывающих его состояние или функционирование, а также переменных, описывающих воздействие внешней среды, и т. д. Затем множество элементов объекта управления разбивается на подмножества, объединяющие элементы, влияющие на объект управления. Множеству и тем самым объекту управления в целом соответствует слой нейронов, генерирующий исходящий сигнал (выходные нейроны — нейроны слоя n), а подмножествам элементов, оказывающих влияние на выходные нейроны, — слой промежуточных нейронов (нейроны, принимающие сигналы, исходящие от нейронов предыдущих слоев — нейроны слоя $n - 1$). Подобным же образом производится формирование нейронов слоя $n - 2$, затем слоя $n - 3$ и т. д. На каждом шаге каждому из подмножества нейронов k ($k = 1, 2, \dots, n$), принимающему сигнал, ставится в соответствие нейрон, генерирующий сигнал из подмножества $k - 1$, так, что один нейрон слоя k может принимать сигнал нескольких нейронов слоя $k - 1$. Слои формируются поочередно, пока не будут созданы все n слоев нейронной сети. При этом корень дерева соответствует множеству нейронов выходного слоя.

Таким образом, нейронная сеть системы управления денежными запасами представляет собой слоистую сеть, в которой нейроны расположены в несколь-

ко слоев. Нейроны первого слоя получают входные сигналы, преобразуют их и передают нейронам второго слоя. Затем срабатывает третий слой и т. д. — до последнего слоя, который выдает выходные сигналы для интерпретатора и пользователя.

Каждый выходной сигнал нейронов k -го слоя подается на вход всех нейронов $(k + 1)$ -го. Нейронную сеть вычисления остатка денежных средств корпорации удобно представить, сгруппировав нейроны промежуточных слоев между входными и выходными в скрытый слой (рис. 1).

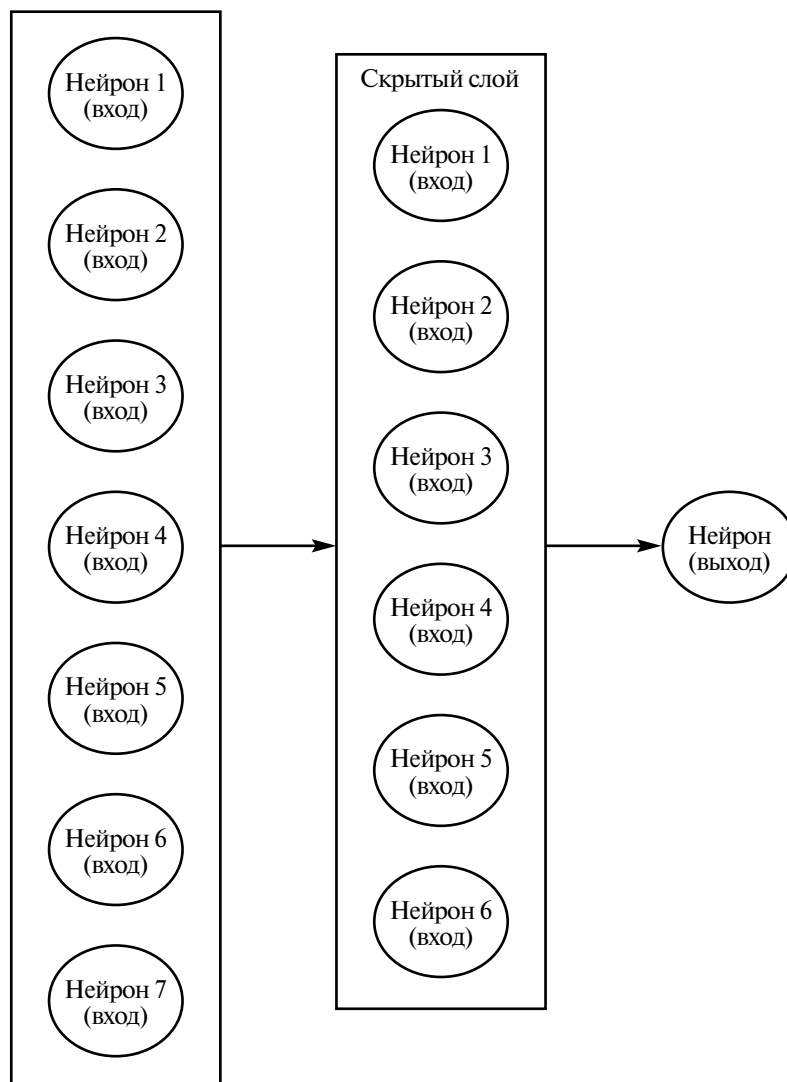


Рис. 1. Структура нейронной сети управления денежными запасами с одним скрытым слоем

Нейроны скрытого слоя

Нейроны скрытого слоя содержат преобразователи параметров социально-экономического окружения корпорации. Нейроны должны быть разработаны таким образом, чтобы кодировать качественную информацию, описывающую состояние окружающей среды корпорации.

Получаемая информация заносится в матрицы парных сравнений и обрабатывается в соответствии с модифицированным методом анализа иерархий в три этапа. При этом слои нейронной сети рассматриваются в качестве уровней иерархии, построенной с целью выявления приоритетов факторов окружающей среды корпорации. В этом случае верхний уровень иерархии представляет собой слой нейронов входных сигналов, а нижний уровень иерархии объединяет нейроны, генерирующие выходные сигналы. Для кодирования качественной информации следует использовать шкалу, разработанную Ф. Лутсмой (Lootsma, 1993) (табл. 1).

Таблица 1

Шкала выявления относительной важности элементов одного уровня иерархии

Уровень относительной важности	Количественное значение
Очень сильное превосходство	8
Значительное превосходство	6
Существенное или сильное превосходство	4
Умеренное превосходство одного над другим	2
Равная важность	0
Умеренная подчиненность одного элемента другому	-2
Существенная или сильная подчиненность	-4
Значительная подчиненность	-6
Очень сильная подчиненность	-8

Этап 1. Для каждой из полученных матриц парных сравнений элементов всех уровней иерархии определяется количественное значение относительной важности в соответствии со шкалой (см. табл. 1). На основании величины относительной важности рассчитывается значение a_{rs} , отражающее степень превосходства одного сравниваемого элемента r над другим элементом s в соответствии со шкалой сравнения элементов (индексы r и s относятся к строке и столбцу соответственно):

$$a_{rs} = 2^{\sigma_{rs}}, \quad (1)$$

где σ_{rs} — количественное значение относительной важности в соответствии со шкалой (см. табл. 1).

Затем вычисляются средние геометрические степеней превосходства элементов одного уровня иерархии. Наконец, рассчитываются приоритеты сравниваемых элементов x_r как отношение средних геометрических степеней превосходства этих элементов к сумме средних геометрических всех элементов этого уровня иерархии:

$$x_r = \frac{S_r}{\sum_{r=1}^N S_r}, \quad (2)$$

где S_r — среднее геометрическое элементов a_{rs} по N .

Таким образом, по формулам (1) и (2) определяются величины:

1) нейронов входных сигналов, содержащих качественное описание окружающей среды корпорации, λ_j (например, влияние j -й группы лиц на развитие компании);

2) синапсов нейронов, определяющих веса целей, поставленных перед корпорацией, d_{kj} (например, значение k -й цели для j -й группы лиц);

3) синапсов нейронов, генерирующих выходные сигналы, ω_{ik} (например, вес i -го фактора окружающей среды корпорации, влияющего на вероятность достижения k -й цели).

Этап 2. Определение количественных значений нейронов промежуточного и выходного слоя (например, факторов, характеризующих неопределенность окружающей среды корпорации). Расчет значений нейронов промежуточного слоя (с учетом весов целей корпорации) и нейронов с выходными сигналами производится по мультипликативным формулам.

Сначала вычисляются значения промежуточных нейронов, определяющие веса целей на основании величин нейронов входных сигналов и синапсов, передающих входные сигналы нейронам промежуточного слоя:

$$d_k = \sum_{j=1}^3 d_{kj}^{\lambda_j}, \quad (3)$$

где $j = 1, 2, 3$ — порядковый номер нейрона входного сигнала; d_k — значение k -го нейрона с учетом величины сигналов.

Значения нейронов промежуточного слоя, полученные в результате решения (3), передаются в виде сигналов нейронам, генерирующим выходные сигналы (нейронам факторов окружающей среды). Затем рассчитываются значения нейронов выходного слоя как сумма величин синапсов нейронов, генерирующих выходные сигналы, возведенных в степень значений нейронов промежуточного слоя:

$$p_i = \sum_{k=1}^m \omega_{ik} d_k, \quad (4)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ — порядковый номер нейрона; p_i — значение i -го нейрона, учитывающее влияние предыдущих слоев сети; $k = 1, 2, \dots, m$ — порядковый номер синапса i -го выходного нейрона.

Следовательно, нейроны выходного слоя, получающие сигналы по синапсам от промежуточных нейронов, учитывают влияние всех предыдущих слоев сети.

Этап 3. Определение выходных сигналов нейронов (v_i) в соответствии с построенной нейронной сетью по формуле преобразователя сигналов:

$$v_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}. \quad (5)$$

Вычисленные сигналы нейронов окружающей среды корпорации поступают в нейрон, определяющий величину остатка денежных средств корпорации в течение планируемого периода.

Нейрон расчета запаса денежных средств

Нейрон остатка денежных средств можно записать отдельно, непосредственно перед выходным нейроном, а можно внести в слой скрытых нейронов. Формальный нейрон денежного остатка формируется из входного сумматора, синапсов, имеющих веса x_i , нелинейного преобразователя, и сигнала на выходе (рис. 2).

Входной сумматор s является адаптивным и содержит вектор настраиваемых параметров x , значения которых предстоит определить. Активационная функция принимает значение в зависимости от текущего состояния нейрона, опре-

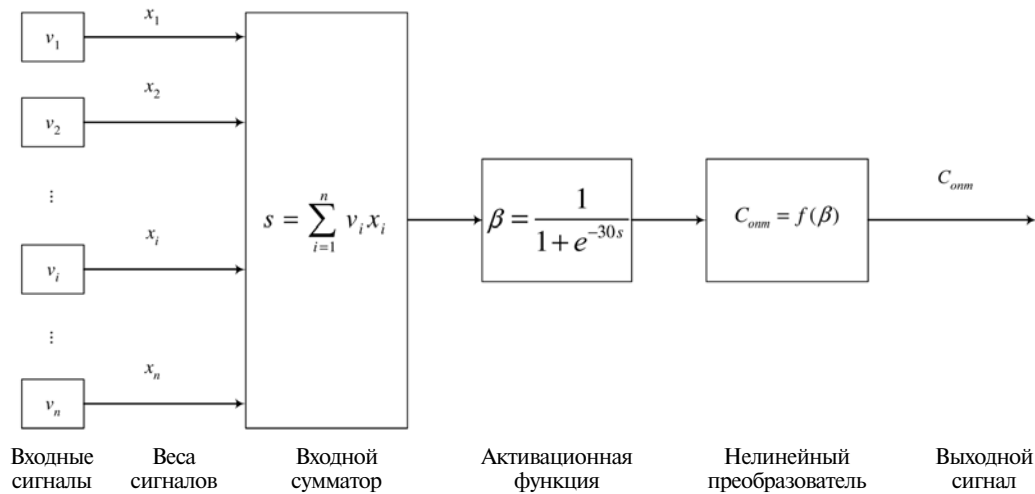


Рис. 2. Формальный нейрон расчета остатка денежных средств

деляемого величиной s . Активационную функцию запишем в виде логистической функции:

$$\beta = \frac{1}{1 + e^{-30s}}. \quad (6)$$

Преимуществом используемой функции является то, что она усиливает слабые сигналы, отражающие рост степени неопределенности, лучше, чем большие, так как большие сигналы соответствуют областям аргументов, где сигмоид имеет пологий наклон. Нелинейный преобразователь переводит значение активационной функции в выходной сигнал C_{opt} , который является искомым значением остатка денежных средств корпорации.

Беннет МакКалэм и Марвин Гудфрэнд (McCallum, Goodfriend, 1987) выдвинули предположение, что совершение сделок требует затрат времени. Орацио Аттанасио, Луджи Гисо и Тулио Джапелли (Attanasio, Guiso, Jappelli, 1998, p. 6—7) рассмотрели возможность введения в формулу расчета оптимального остатка денежных средств коэффициента, учитывающего технологические усовершенствования процесса заключения сделок A , и показателя времени B , затрачиваемого на заключение сделок. Особенность разработанного О. Аттанасио, Л. Гисо и Т. Джапелли подхода заключается в том, что модель расчета остатка денежных средств может быть преобразована при определенном сочетании коэффициентов в формулу У. Баумоля или в формулу Миллера — Орра.

Однако модель, предлагаемая в работе указанных авторов, является не точной в математическом смысле. Кроме того, формируемый нейрон должен учитывать факторы неопределенности, влияющие на социально-экономическое окружение корпорации. Поэтому нелинейный преобразователь нейрона следует записать таким образом:

$$C_{opt} = \beta C_{min} + \left(\frac{(2 + \beta)bA}{(1 + 3\beta)E_d} \right)^{\frac{1}{2+\beta}} P^{\frac{1-\beta}{2}} D^{\frac{\beta}{3}}, \quad (7)$$

где C_{min} — минимальный уровень запаса денежных средств, который корпорация стремится поддерживать; b — постоянные расходы на привлечение денежных средств; E_d — доходность краткосрочных финансовых вложений; P — об-

ший расход корпорации в течение года; D — дисперсия планового ежедневного денежного оборота; β изменяется на отрезке от 0 до 1, в зависимости от состояния окружающей среды корпорации. Если $\beta = 0$, то формула (7) преобразуется в формулу У. Баумоля, а если $\beta = 1$, то в формулу Миллера — Орра.

Возрастание неопределенности окружающей среды логистической системы приводит к повышению минимального уровня денежных средств, так как первое слагаемое в рассматриваемой формуле зависит от степени неопределенности.

Допустим, что рассматриваемый нейрон получает входные сигналы по пяти синапсам. При этом сигналы изменяются в зависимости от степени неопределенности окружающей среды корпорации. Повышенная неопределенность характеризуется следующими входными сигналами:

$$v_1 = 0,4; v_2 = 0,4; v_3 = 0,1; v_4 = 0,05; v_5 = 0,05.$$

В то время как пониженная неопределенность отражается такими значениями входных сигналов:

$$v_1 = 0,06; v_2 = 0,06; v_3 = 0,08; v_4 = 0,4; v_5 = 0,4.$$

В соответствии с поставленной целью нейронная сеть должна научиться различать поступающие сигналы, определяя веса синапсов. В процессе обучения нейронной сети были вычислены следующие значения сумматора и активационной функции (табл. 2).

Таблица 2

Весовые коэффициенты синапсов, полученные в результате обучения нейронной сети

№ п/п	Входные сигналы (v_i) в случае		Весовые коэффициенты синапсов (x_i)
	высокой степени неопределенности	низкой степени неопределенности	
1	0,4	0,06	0,38
2	0,4	0,06	-0,02
3	0,1	0,08	-0,16
4	0,05	0,4	-0,8
5	0,05	0,4	-0,8
Значения сумматора s	0,048	-0,631	
Значение активационной функции β	0,81	0	

Пример

Предположим, что нейроном расчета запаса денежных средств были получены следующие значения входных сигналов, полученные в результате анализа факторов социально-экономического окружения корпорации:

$$v_1 = 0,7; v_2 = 0,1; v_3 = 0,05; v_4 = 0,08; v_5 = 0,07.$$

В этом случае значение активационной функции β равно 0,98, что свидетельствует о высокой степени неопределенности. Соответственно формула (7) для расчета оптимальной величины запаса денежных средств корпорации получает следующие значения коэффициентов:

$$C_{\text{опт}} = 0,98 C_{\text{min}} + \left(\frac{2,98 b A}{3,94 E_d} \right)^{\frac{1}{2,98}} P^{\frac{0,02}{2}} D^{\frac{0,98}{3}},$$

Допустим, что корпорация имеет возможность приобрести ценные бумаги доходностью 0,022% в день. При этом постоянные затраты на совершение сделок корпорацией равны 1,2 тыс. руб. на каждую операцию. Дисперсия планового ежедневного денежного оборота равна 70 тыс. руб., общий размер платежей в течение года планируется в размере 360 тыс. руб., а минимальный уровень денежных средств — 200 тыс. руб. Определим оптимальный остаток денежных средств корпорации для $A = 1$:

$$C_{\text{опт}} = 0,98 \times 200 + \left(\frac{2,98 \times 1,2}{3,94 \times 0,022} \right)^{\frac{1}{2,98}} \times 360^{\frac{0,02}{2}} \times 70^{\frac{0,98}{3}} = \\ = 196,67 + 3,48 \times 1,06 \times 4,01 = 211,46 \text{ (тыс. руб.)}$$

Следовательно, оптимальная величина денежного остатка равна 211,46 тыс. руб.

Таким образом, поступающая в нейронную сеть качественная информация кодируется с учетом интересов различных сторон, участвующих в процессе принятия решений. Кроме того, разработанная нейронная сеть позволяет формировать запас денежных средств с учетом социально-экономического окружения корпорации в условиях неопределенности. При этом используется механизм самообучения сети для распознавания поступающих сигналов.

Источники

Ширяев В. И. Модели финансовых рынков. Нейросетевые методы в анализе финансовых рынков: учеб. пособие. М., 2007.

Attanasio O., Guiso L., Jappelli T. The Demand for Money, Financial Innovation, and the Welfare Cost of Inflation: An Analysis with Households' Data. Centre for studies in economics and finance. Working paper N 3. 1998. May.

Lootsma F. A. Scale Sensitivity in the Multiplicative AHP and SMART // Journal of Multi-Criteria Decision Analysis. 1993. Vol. 2. P. 87—110.

McCallum B. T., Goodfriend M. S. Demand for Money: theoretical studies // The New Palgrave: a Dictionary of Economics. London, 1987. Vol. 1.