

ность отобразить h_2 число вариантов, прошедших порог. Его величина отличается от величины порога первого этапа в связи с изменением числа степеней свободы. Если таких вариантов больше одного, то выдвигается гипотеза о наличии трех объектов и т.д. Процедура продолжается до тех пор, пока не будет оставлен один вариант объединения траекторий, который и соответствует оценочному \hat{N} числу траекторий.

Отметим, что на втором этапе процедура вычисления статистик существенно проще, поскольку содержит лишь операции сложения вычисленных ранее статистик первого этапа. Однако величина порога будет зависеть от количества объектов в выдвигаемой гипотезе.

Упростить рассмотренный метод можно путем стробирования отметок. При этом может быть несколько вариантов (по степени сложности) построения обработки.

Первый из них состоит в стробировании отметок [1] и использовании для проверки гипотез только отметок, попавших в стробы. Величина строба зависит от максимальной скорости объекта. Для оценки параметров траектории используются рекуррентные методы. Для оценки количества вариантов продолжения траектории будем считать, что в строб может попасть в среднем m отметок. Тогда оценка среднего числа вариантов продолжения траектории за M кадров равна $M(n) = m^M$, т.е. выигрыш в числе рассматриваемых вариантов в этом случае будет

иметь порядок $\left(\frac{n}{m}\right)^M$, где n - среднее число отметок в кадре.

Следующий вариант упрощения состоит в том, что для продолжения траектории выбирается одна отметка в стробе, например, по критерию минимального отклонения от центра строба. В этом случае проблема проверки гипотез отпадает, однако при высокой пространственной плотности объектов такой алгоритм может оказаться не работоспособным.

Таким образом, выбор конкретного алгоритма обработки зависит от ожидаемой пространственной плотности объектов, их максимальной скорости, точности измерения параметров и интервала обработки. Самые сложные алгоритмы используют процедуры многоальтернативной проверки гипотез, а более простые – стробирования измерений.

Литература: 1. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации. М.: Сов. радио, 1974. 432 с. 2. Бакут П.А., Жулина Ю.В., Иванчук Н.А. Обнаружение движущихся объектов. М.: Сов. радио, 1980. 288 с.

Поступила в редколлегию 07.07.99

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Макаренко Б.И.

Стрелкова Татьяна Александровна, научный сотрудник Военно-научного центра космических исследований при Харьковском военном университете. Научные интересы: биофизика, оптико-электронные системы медицинской диагностики. Адрес: Украина, 310043, Харьков, Площадь Свободы 6, тел. (0572) 40-28-85.

Писаренко Татьяна Георгиевна, аспирантка ГНПО "Метрология". Научные интересы: статистическая обработка телевизионных сигналов. Адрес: Украина, 310002, Харьков, ул. Мироносицкая, 42, тел. (0572) 40-30-83.

Лытюга Александр Петрович, старший научный сотрудник Военно-научного центра космических исследований при Харьковском военном университете. Научные интересы: оптико-электронные средства, вычислительная техника. Адрес: Украина, 310043, Харьков, Площадь Свободы 6, тел. (0572) 40-28-85.

УДК 681.513.7

ИМИТАЦИОННАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДУОПОЛИИ

БОДЯНСКИЙ Е.В., ЛЮБЧИК Л.М., МАТУСОВСКИЙ Г.А., ПЛИСС И.П.

Анализ несовершенной конкуренции двух экономических агентов на рынке товаров производится с помощью имитационной нейросетевой модели. Предлагается архитектура искусственной нейронной сети, работающей в ускоренном и реальном масштабах времени.

Одним из направлений экономико-математических исследований является теория дуополии [1,2], изучающая вопросы конкуренции на рынке двух экономических агентов. До появления методов имитационного моделирования [3] теория дуополии строилась на весьма сильных и зачастую нереалистичных предположениях, поскольку иначе возникали слишком сложные модели, не поддающиеся аналитическому исследованию и интерпретации. И только с появлением техники имитационного эксперимента отпала необходимость использовать грубые предположения, плохо согласующиеся с реальностью.

В настоящей работе рассматривается нетрадиционная задача дуополии (тем не менее имеющая практический смысл в условиях современных реалий), характеризующаяся различными предельными затратами конкурентов и ограниченностью их капитала.

Рассмотрим вначале классическую задачу дуополии, когда предполагается, что товар однороден, производится при одинаковых предельных издержках, капитал экономических агентов неограничен, при этом общий выпуск продукции равен

$$q = q_1 + q_2, \quad (1)$$

функция спроса линейна

$$p = a - b(q_1 + q_2), \quad a > 0, b > 0, \quad (2)$$

а кривые издержек имеют вид

$$S_1 = cq_1 + d, S_2 = cq_2 + d, \quad c > 0, d > 0, \quad (3)$$

где p – цена товара; c – предельные издержки; d – фиксированные издержки.

Первый экономической агент при этом будет получать прибыль

$$I_1 = (a - b(q_1 + q_2))q_1 - cq_1 - d, \quad (4)$$

которую он хочет максимизировать путем выбора q_1 . Условием максимума этой прибыли является

$$\frac{\partial I_1}{\partial q_1} = (a - b(q_1 + q_2)) - bq_1 - b \frac{\partial q_2}{\partial q_1} q_1 - c = 0, \quad (5)$$

где $\frac{\partial q_2}{\partial q_1}$ — так называемая предположительная вари-

ация, описывающая влияние изменения выпуска первого агента на выпуск конкурента.

Анализ классической дуополии Курно [1,3] основан на предпосылке, что предположительные вариации равны нулю, т.е. что каждый из дуополистов считает, что изменения в его собственном выпуске продукции не повлияют на поведение конкурента. Тогда равновесие Курно (РК) можно определить парой уравнений:

$$\left. \frac{\partial I_1}{\partial q_1} \right|_{\frac{\partial q_2}{\partial q_1} = 0} = 0, \quad \left. \frac{\partial q_2}{\partial q_1} \right|_{\frac{\partial q_1}{\partial q_2} = 0} = 0, \quad (6)$$

откуда

$$\begin{aligned} a - 2bq_1 - bq_2 - c &= 0, \\ a - bq_1 - 2bq_2 - c &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

и равенство

$$q_1 = q_2 = \frac{a - c}{3b} \quad (8)$$

представляет собой РК.

Тогда равновесные рыночные цены и общий выпуск продукции будут определяться по формулам

$$p = \frac{a + 2c}{3}, \quad q = \frac{2}{3} \cdot \frac{a - c}{b}. \quad (9)$$

Из (7) следует также выражение для отношений между выпусками конкурентов:

$$q_1 = \frac{a - c - bq_2}{2b}, \quad q_2 = \frac{a - c - bq_1}{2b}. \quad (10)$$

Классическая дуополия Курно описывает ситуацию, когда конкуренты находятся в равных условиях, т.е. несут одинаковые затраты.

Рассмотрим задачу дуополии, когда затраты конкурентов отличаются. Подобная ситуация возникает, например, при исследовании взаимодействия теневого и легального секторов экономики [4,5]. Поскольку затраты теневого сектора ниже (отсутствие налогового, таможенного и других форм контроля), он находится в более выгодном положении. Попытка анализа подобного взаимодействия была предпринята в [6], однако задача не была решена.

Пусть

$$\begin{aligned} S_1 &= c_1 q_1 + d_1, S_2 = c_2 q_2 + d_2, \\ c_1 &\neq c_2, d_1 \neq d_2 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\text{и} \quad \begin{cases} \frac{\partial I_1}{\partial q_1} = a - b(q_1 + q_2) - bq_1 - c_1 = 0, \\ \frac{\partial I_2}{\partial q_2} = a - b(q_1 + q_2) - bq_2 - c_2 = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Из (12) следует, что

$$q_1 = \frac{a - c_1 - bq_2}{2b}, \quad q_2 = \frac{a - c_2 - bq_1}{2b}, \quad (13)$$

$$q_1 = \frac{a - 2c_1 - c_2}{3b}, \quad q_2 = \frac{a + c_1 - 2c_2}{3b}, \quad (14)$$

$$p = \frac{a + c_1 + c_2}{3}, \quad q = \frac{2a - c_1 - c_2}{3}. \quad (15)$$

Если затраты второго экономического агента составляют долю затрат первого $c_2 = g c_1$, $0 < g < 1$, то потери первого дуополиста в выпуске составляют

$$q_1 - q_2 = \frac{q - 1}{b} < 0, \quad (16)$$

что провоцирует перетекание капитала из легального сектора в теневой. В этих условиях, следуя теории рыночного равновесия, теневой сектор просто “обязан” расширяться.

Одной из основных предпосылок теории дуополии является неограниченность капитала у производителей. На самом деле это далеко не так, и неучет этого обстоятельства может заметно исказить картину состояния дел.

Итак, на самом деле

$$\begin{aligned} S_1 &= c_1 q_1 + d_1 \leq Q_1, \\ S_2 &= c_2 q_2 + d_2 \leq Q_2, \end{aligned} \quad (17)$$

при этом естественно возникает задача нелинейного программирования:

$$\begin{cases} \max_{q_1} I_1 = (a - b(q_1 + q_2))q_1 - c_1 q_1 - d_1 \\ \text{при} \quad c_1 q_1 + d_1 \leq Q_1, \\ \max I_2 = (a - b(q_1 + q_2))q_2 - c_2 q_2 - d_2 \\ \text{при} \quad c_2 q_2 + d_2 \leq Q_2. \end{cases} \quad (18)$$

Сформулируем пару функций Лагранжа:

$$\begin{cases} L_1 = -(a - b(q_1 + q_2))q_1 - c_1 q_1 - d_1 + \\ \quad + \lambda_1 (c_1 q_1 + d_1 - Q_1), \\ L_2 = -(a - b(q_1 + q_2))q_2 - c_2 q_2 - d_2 + \\ \quad + \lambda_2 (c_2 q_2 + d_2 - Q_2) \end{cases} \quad (19)$$

(здесь λ_1, λ_2 — неопределённые неотрицательные множители Лагранжа, удовлетворяющие условиям дополнительной нежесткости) и запишем систему уравнений Куна-Таккера:

$$\begin{cases} \partial L_1 / \partial q_1 = -a + 2bq_1 + bq_2 + \\ \quad + (1 + \lambda_1)c_1 = 0, \\ \partial L_1 / \partial \lambda_1 = c_1 q_1 + d_1 - Q_1 \leq 0, \\ \partial L_2 / \partial q_2 = -a + bq_1 + 2bq_2 + \\ \quad + (1 + \lambda_2)c_2 = 0, \\ \partial L_2 / \partial \lambda_2 = c_2 q_2 + d_2 - Q_2 \leq 0. \end{cases} \quad (20)$$

Из (20) следует

$$\begin{cases} q_1 = \frac{a - 2(1 + \lambda_1)c_1 + (1 + \lambda_2)c_2}{3b}, \\ q_2 = \frac{a + (1 + \lambda_1)c_1 - 2(1 + \lambda_2)c_2}{3b}, \end{cases} \quad (21)$$

при этом если первый дуополист “знает” выпуск второго, то собственный выпуск может быть найден с помощью процедуры

$$\begin{cases} q_1(k) = \frac{a - (1 + \lambda_1(k-1))c_1 - bq_2}{2b}, \\ \lambda_1(k) = [\lambda_1(k-1) + \\ \quad + \gamma(k)(c_1 q_1(k) + d_1 - Q_1)]_+, \end{cases} \quad (22)$$

где $k = 1, 2, \dots, M$ – итерации ускоренного машинного времени; $\gamma(k)$ – положительный параметр шага поиска; $[\bullet]_+ = \max\{0, \bullet\}$.

Если же оба дуополиста работают в условиях неопределенности о намерениях друг друга, то их стратегии определяются соотношениями

$$\begin{cases} q_1(k) = \frac{a - 2(1 + \lambda_1(k-1))c_1 + (1 + \lambda_2(k-1))c_2}{3b}, \\ q_2(k) = \frac{a + (1 + \lambda_1(k-1))c_1 - 2(1 + \lambda_2(k-1))c_2}{3b}, \\ \lambda_1(k) = [\lambda_1(k-1) + \\ \quad + \gamma(k)(c_1 q_1(k) + d_1 - Q_1)]_+, \\ \lambda_2(k) = [\lambda_2(k-1) + \\ \quad + \gamma(k)(c_2 q_2(k) + d_2 - Q_2)]_+. \end{cases} \quad (23)$$

Отметим, что равенство настраиваемого множителя Лагранжа нулю означает, что у данного дуополиста имеется избыточный капитал, который с большей выгодой может быть использован для других целей, например, направлен в другую отрасль деятельности.

Введенные соотношения описывают оптимальные выпуски конкурентов в статике, в то время как экономика функционирует в динамике в реальном времени.

Используя уравнение для классического РК, полагая временной шаг равным одному периоду реального времени и переходя к динамике, несложно получить пару разностных уравнений

$$q_1^{t+1} = \frac{a - c - bq_2^t}{2b}, \quad q_2^{t+1} = \frac{a - c - bq_1^t}{2b}, \quad (24)$$

где $t = 0, 1, 2, \dots$ – текущее реальное время.

Следуя уравнениям (24), каждый дуополист как бы “подгоняет” свой выпуск к выпуску конкурента до тех пор, пока не будет достигнута точка РК. На каждом шаге этого процесса динамической подгонки изменение выпуска одного экономического агента вызывает изменение выпуска другого.

Системе уравнений (13) в динамике соответствует пара разностных уравнений

$$q_1^{t+1} = \frac{a - c_1 - bq_2^t}{2b}, \quad q_2^{t+1} = \frac{a - c_2 - bq_1^t}{2b}, \quad (25)$$

а динамика для (18) имеет вид

$$\begin{cases} q_1^{t+1} = \frac{a - (1 + \lambda_1^t)c_1 - bq_2^t}{2b}, \\ q_2^{t+1} = \frac{a - (1 + \lambda_2^t)c_2 - bq_1^t}{2b}. \end{cases} \quad (26)$$

Здесь, однако, возникает вопрос о соотношении между ускоренным (k) и реальным (t) временами, на котором следует остановиться подробнее, для чего рассмотрим временной график приведенный на рис. 1.

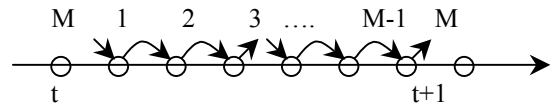


Рис. 1. Соотношение времен

Из рис. 1 следует, что между двумя соседними тактами реального времени t и $t+1$ происходит M итераций машинного времени, причем шаг квантования реального времени таков, что M – количество итераций машинного времени может быть достаточно велико.

В каждый момент реального времени t решается задача нелинейного программирования с помощью алгоритма (23), для чего отводится не более M итераций машинного времени для достижения сходимости. После этого полагается $q_1(M) = q_1^t$,

$q_2(M) = q_2^t$, $\lambda_1(M) = \lambda_1^t$, $\lambda_2(M) = \lambda_2^t$ и происходит переход к (26), где вычисляются новые значения выпусков q_1^{t+1} , q_2^{t+1} . Далее опять запускается процедура настройки неопределенных множителей Лагранжа для обеспечения требуемых ограничений.

При более сложном анализе дуополии учитывается вероятная реакция конкурента, т.е. допускается ненулевая предположительная вариация. Такая ситуация возникает в дуополии Стэкельберга [1], когда один или оба экономических агента одновременно считают, что конкурент будет вести себя как дуополист Курно. Предположим, что первый дуополист считает, что его конкурент будет реагировать соответственно реакциям Курно:

$$q_2 = \frac{a - c - bq_1}{2b}. \quad (27)$$

Тогда предположительная вариация будет равна $\partial q_2 / \partial q_1 = -1/2$, поэтому, используя (5), получаем

$$\frac{\partial I_1}{\partial q_1} = a - b(q_1 + q_2) - bq_1 + \frac{1}{2}bq_1 - c = 0 \quad (28)$$

$$\text{и} \quad q_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{a - c - bq_2}{b}. \quad (29)$$

Общие результаты будут зависеть от поведения второго дуополиста. Если он пользуется реакцией Курно, как полагает первый, то решением является равновесие Стэкельберга (РС) для первого дуополиста:

$$q_1 = \frac{a - c}{2b}, \quad q_2 = \frac{a - c}{4b}. \quad (30)$$

Очевидно, что при такой стратегии первый агент получает большую прибыль, а второй меньшую, чем при РК. Предположим далее, что второй дуополист не пользуется реакцией Курно, а действует сам согласно реакции Стэкельберга, т.е. каждый конкурент неправильно предполагает, что другой использует допущение Курно. В результате получаем неравновесие Стэкельберга (НС):

$$q_1 = q_2 = \frac{2}{5} \cdot \frac{a - c}{b}, \quad (31)$$

при котором оба конкурента получают меньшую прибыль, чем при РК. Несложно также видеть, что

$$p = \frac{a + 4c}{5}, \quad q = \frac{4}{5} \cdot \frac{a - c}{b}. \quad (32)$$

Переходя далее к ситуации, когда конкуренты несут разные затраты c_1 и c_2 , выпишем основные результаты, связанные с РК, НС, РС для первого дуополиста.

Равновесие Курно:

$$q_1 = \frac{a - c_1 - bq_2}{2b}, \quad q_2 = \frac{a - c_2 - bq_1}{2b}, \quad (33)$$

$$q_1 = \frac{a - 2c_1 + c_2}{3b}, \quad q_2 = \frac{a + c_1 - 2c_2}{3b}, \quad (34)$$

$$p = \frac{a + c_1 + c_2}{3}, \quad q = \frac{2a - c_1 - c_2}{3b}, \quad (35)$$

$$\begin{cases} I_1 = \frac{(a - 2c_1 + c_2)^2}{9b} - d_1, \\ I_2 = \frac{(a + c_1 - 2c_2)^2}{9b} - d_2. \end{cases} \quad (36)$$

Неравновесие Стэкельберга:

$$\begin{cases} q_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{a - c_1 - bq_2}{b}, \\ q_2 = \frac{2}{3} \cdot \frac{a - c_2 - bq_1}{b}, \end{cases} \quad (37)$$

$$\begin{cases} q_1 = \frac{2}{5} \cdot \frac{a - 3c_1 + 2c_2}{b}, \\ q_2 = \frac{2}{5} \cdot \frac{a + 2c_1 - 3c_2}{b}, \end{cases} \quad (38)$$

$$p = \frac{a + 2(c_1 + c_2)}{5}, \quad q = \frac{2}{5} \cdot \frac{2a - c_1 - c_2}{b}, \quad (39)$$

$$\begin{cases} I_1 = \frac{2}{25} \cdot \frac{(a - 3c_1 + 2c_2)^2}{b} - d_1, \\ I_2 = \frac{2}{25} \cdot \frac{(a + 2c_1 - 3c_2)^2}{b} - d_2. \end{cases} \quad (40)$$

Равновесие Стэкельберга:

$$q_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{a - c_1 - bq_2}{b}, \quad q_2 = \frac{a - c_2 - bq_1}{b}, \quad (41)$$

$$q_1 = \frac{a - 2c_1 + c_2}{2b}, \quad q_2 = \frac{a + 2c_1 - 3c_2}{4b}, \quad (42)$$

$$p = \frac{a + 2c_1 + c_2}{4}, \quad q = \frac{3a - 2c_1 - c_2}{4b}, \quad (43)$$

$$\begin{cases} I_1 = \frac{(a - 2c_1 + c_2)^2}{8b} - d_1, \\ I_2 = \frac{(a + 2c_1 - 3c_2)^2}{16b} - d_2. \end{cases} \quad (44)$$

Обобщая (33)-(44), записываем соотношения общего вида:

$$\begin{aligned} q_1 &= k_1 \frac{a - c_1 - bq_2}{b}, \\ q_2 &= k_2 \frac{a - c_2 - bq_1}{b}, \end{aligned} \quad (45)$$

$$\begin{aligned} q_1 &= \tilde{k}_1 \frac{a + \tilde{k}_{11}c_1 + \tilde{k}_{12}c_2}{b}, \\ q_2 &= \tilde{k}_2 \frac{a + \tilde{k}_{21}c_1 + \tilde{k}_{22}c_2}{b}, \end{aligned} \quad (46)$$

$$p = a - bq, \quad q = q_1 + q_2, \quad (47)$$

$I_1 = (p - c_1)q_1 - d_1, I_2 = (p - c_2)q_2 - d_2$, (48) где значения коэффициентов выражений (45), (46) приведены в таблице.

	k_1	k_2	\tilde{k}_1	\tilde{k}_2	\tilde{k}_{11}	\tilde{k}_{12}	\tilde{k}_{21}	\tilde{k}_{22}
РК	1/2	1/2	1/3	1/3	-2	1	1	-2
НС	2/3	2/3	2/5	2/5	-3	2	2	-3
РС	2/3	1/2	1/2	1/4	-2	1	2	-3

Перейдем далее к рассмотрению РС при ограничениях на капитал конкурентов. Системе уравнений Куна-Таккера (20) в данном случае соответствует

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial L_1}{\partial q_1} &= -a + \frac{3}{2}bq_1 + bq_2 + \\ &\quad + (1 + \lambda_1)c_1 = 0, \\ \frac{\partial L_1}{\partial \lambda_1} &= c_1q_1 + d_1 - Q_1 \leq 0, \\ \frac{\partial L_2}{\partial q_2} &= -a + bq_1 + 2bq_2 + \\ &\quad + (1 + \lambda_2)c_2 = 0, \\ \frac{\partial L_2}{\partial \lambda_2} &= c_2q_2 + d_2 - Q_2 \leq 0, \end{aligned} \right. \quad (49)$$

откуда

$$\left\{ \begin{aligned} q_1 &= \frac{2}{3} \cdot \frac{a - (1 + \lambda_1)c_1 - bq_2}{b}, \\ q_2 &= \frac{a - (1 + \lambda_2)c_2 - bq_1}{2b}, \end{aligned} \right. \quad (50)$$

при этом (22) процедура настройки

$$\left\{ \begin{aligned} q_1(k) &= \frac{2}{3} \cdot \frac{a - (1 + \lambda_1(k-1))c_1 - bq_2}{b}, \\ \lambda_1(k) &= [\lambda_1(k-1) + \\ &\quad + \gamma(k)(c_1q_1(k) + d_1 - Q_1)]_+, \end{aligned} \right. \quad (51)$$

Если же первый дуополист планирует свой выпуск по Стэжельбергу, а второй – по Курно, то вместо (23) запишем

$$\left\{ \begin{aligned} q_1(k) &= \frac{a - 2(1 + \lambda_1(k-1))c_1 + (1 + \lambda_2(k-1))c_2}{2b}, \\ q_2(k) &= \frac{a + 2(1 + \lambda_1(k-1))c_1 - 3(1 + \lambda_2(k-1))c_2}{4b}, \\ \lambda_1(k) &= [\lambda_1(k-1) + \\ &\quad + \gamma(k)(c_1q_1(k) + d_1 - Q_1)]_+, \\ \lambda_2(k) &= [\lambda_2(k-1) + \\ &\quad + \gamma(k)(c_2q_2(k) + d_2 - Q_2)]_+, \end{aligned} \right. \quad (52)$$

а динамика РС может быть описана парой разностных уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} q_1^{t+1} &= \frac{2}{3} \cdot \frac{a - (1 + \lambda_1^t)c_1 - bq_2^t}{b}, \\ q_2^{t+1} &= \frac{a - (1 + \lambda_2^t)c_2 - bq_1^t}{2b}. \end{aligned} \right. \quad (53)$$

И, наконец, можно записать уравнения дуополии в статике и динамике общего вида. С учетом (45) - (48) получим

$$\left\{ \begin{aligned} q_1(k) &= \frac{\tilde{k}_1}{b} (a + \tilde{k}_{11}(1 + \lambda_1(k-1))c_1 + \\ &\quad + \tilde{k}_{12}(1 + \lambda_2(k-1))c_2), \\ q_2(k) &= \frac{\tilde{k}_2}{b} (a + \tilde{k}_{21}(1 + \lambda_1(k-1))c_1 + \\ &\quad + \tilde{k}_{22}(1 + \lambda_2(k-1))c_2), \\ \lambda_1(k) &= [\lambda_1(k-1) + \gamma(k) \times \\ &\quad \times (c_1q_1(k) + d_1 - Q_1)]_+, \lambda_1(M) = \lambda_1^t, \\ \lambda_2(k) &= [\lambda_2(k-1) + \gamma(k) \times \\ &\quad \times (c_2q_2(k) + d_2 - Q_2)]_+, \lambda_2(M) = \lambda_2^t \end{aligned} \right. \quad (54)$$

и

$$\left\{ \begin{aligned} q_1^{t+1} &= k_1 \frac{a - (1 + \lambda_1^t)c_1 - bq_2^t}{b}, \\ q_2^{t+1} &= k_2 \frac{a - (1 + \lambda_2^t)c_2 - bq_1^t}{b}. \end{aligned} \right. \quad (55)$$

Соотношения (54), (55) описывают взаимодействие двух экономических агентов в условиях несовершенной конкуренции различного типа и положены в основу имитационной модели, синтезированной на основе аппарата искусственных нейронных сетей [7,8]. В основу синтеза положены методика и обозначения элементов (понятные без дополнительных объяснений), предложенные в [9]. На рис. 2 приведена искусственная нейронная сеть ускоренного времени – ИНС(k), реализующая соотношения (54). ИНС(k) “вложена” в нейронную сеть реального времени ИНС(t) (рис.3), которая имитирует динамику (55).

На вход ИНС(k) извне поступает информация о затратах и имеющемся капитале, а из ИНС(t) передаются параметры функции спроса a и b . В процессе вычислений в ускоренном времени с помощью последних двух соотношений (54) проверяются ограничения на капитал дуополистов, и если капитал избыточен, на выходах, обозначаемых (!), появляется единичный сигнал. После M итераций ускоренного времени счетчик итераций подает разрешающий сигнал на ключи K , после чего на выходе ИНС(k) появляются значения $q_1^t, \lambda_1^t, q_2^t, \lambda_2^t$.

ИНС(k) входит в состав ИНС(t), на вход которой извне поступают данные о затратах и сложившихся к этому времени ценах p^t , а из ИНС(k) – выпуски и множители Лагранжа. На выходе сети реального времени появляются сигналы, соответствующие общему выпуску q^t , прибылям конкурентов I_1^t, I_2^t и будущим выпускам q_1^{t+1} , и q_2^{t+1} .

Алгоритм обучения, входящий в ИНС(t), предназначен для настройки параметров функции спроса и реализует процедуру Уидроу-Хоффа, принимающую в данном случае вид

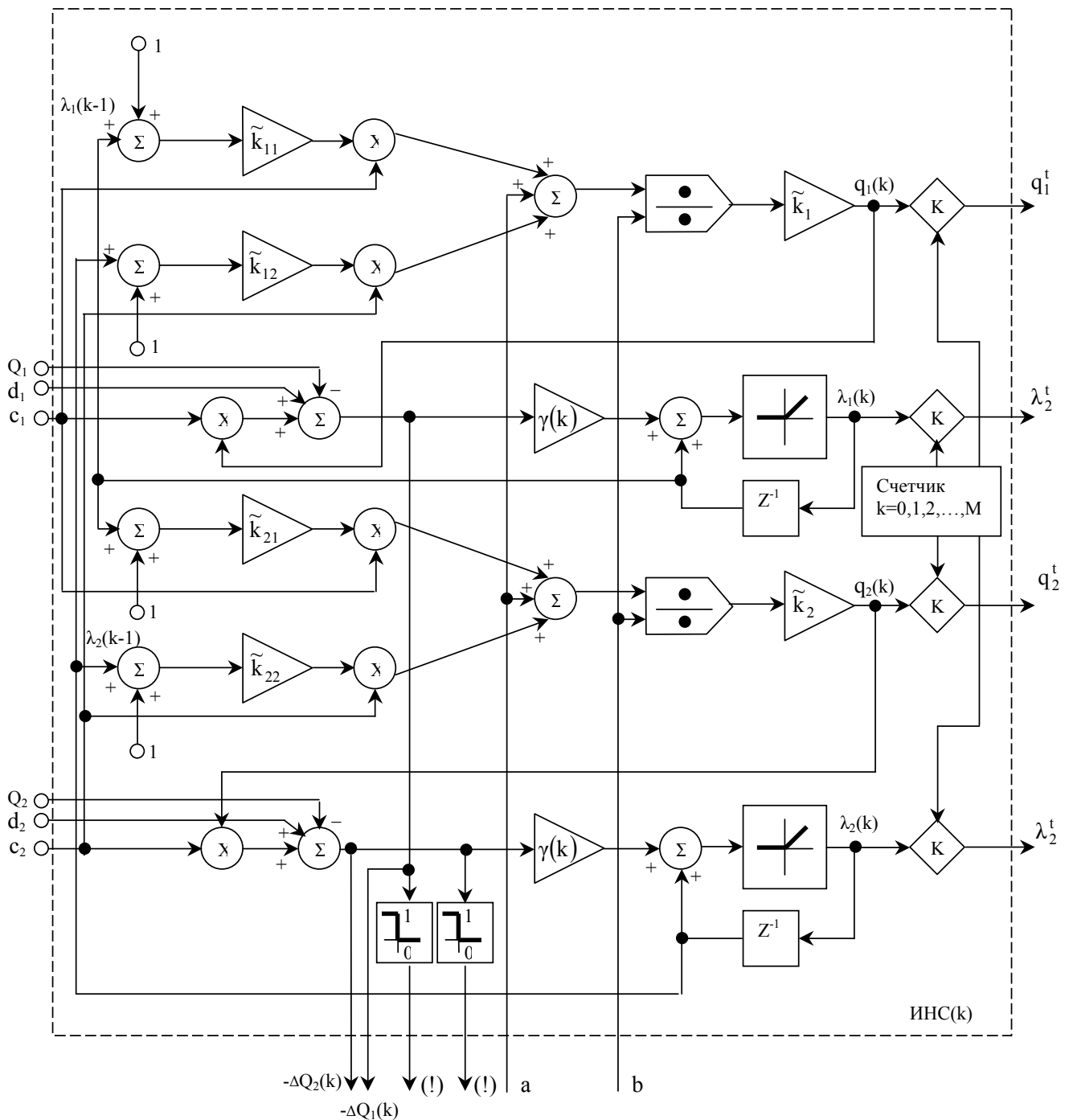


Рис. 2. Искусственная нейронная сеть ускоренного времени

$$\begin{cases} a^t = a^{t-1} + \frac{p^t - a^{t-1} - b^{t-1}q^t}{1 + (q^t)^2}, \\ b^t = b^{t-1} + \frac{p^t - a^{t-1} - b^{t-1}q^t}{1 + (q^t)^2} q^t. \end{cases} \quad (56)$$

Задаваясь различными значениями параметров $k_1, k_2, \tilde{k}_1, \tilde{k}_2, \tilde{k}_{11}, \tilde{k}_{12}, \tilde{k}_{21}, \tilde{k}_{22}$, несложно проанализировать поведение конкурентов при различных типах дуополий.

Если же доступны реальные данные о состоянии рынка, с помощью того же алгоритма обучения Уидроу-Хоффа можно восстановить параметры дуо-

полии и “вычислить” истинные стратегии действующих экономических агентов.

Параллельная имитация нескольких ИНС(t), взаимодействующих через каналы $Q_1, Q_2, \Delta Q_1(k), (!), \Delta Q_2(k), (!)$, позволит исследовать процессы перетекания капитала из одного сегмента рынка в другие.

Литература. 1. *Интрилигатор М.* Математические методы оптимизации и экономическая теория. М.: Прогресс, 1975. 607с. 2. *Обен Ж.-П., Экланд И.* Прикладной нелинейный анализ. М.: Мир, 1988. 512с. 3. *Нейлор Т.* Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. М.: Мир, 1975. 500с. 4. *Теневая экономика, проблемы борьбы с организованной преступностью и коррупцией в сфере экономики // Сборник материалов “круглого стола”.* Луганск: РИО ЛИВД МВД

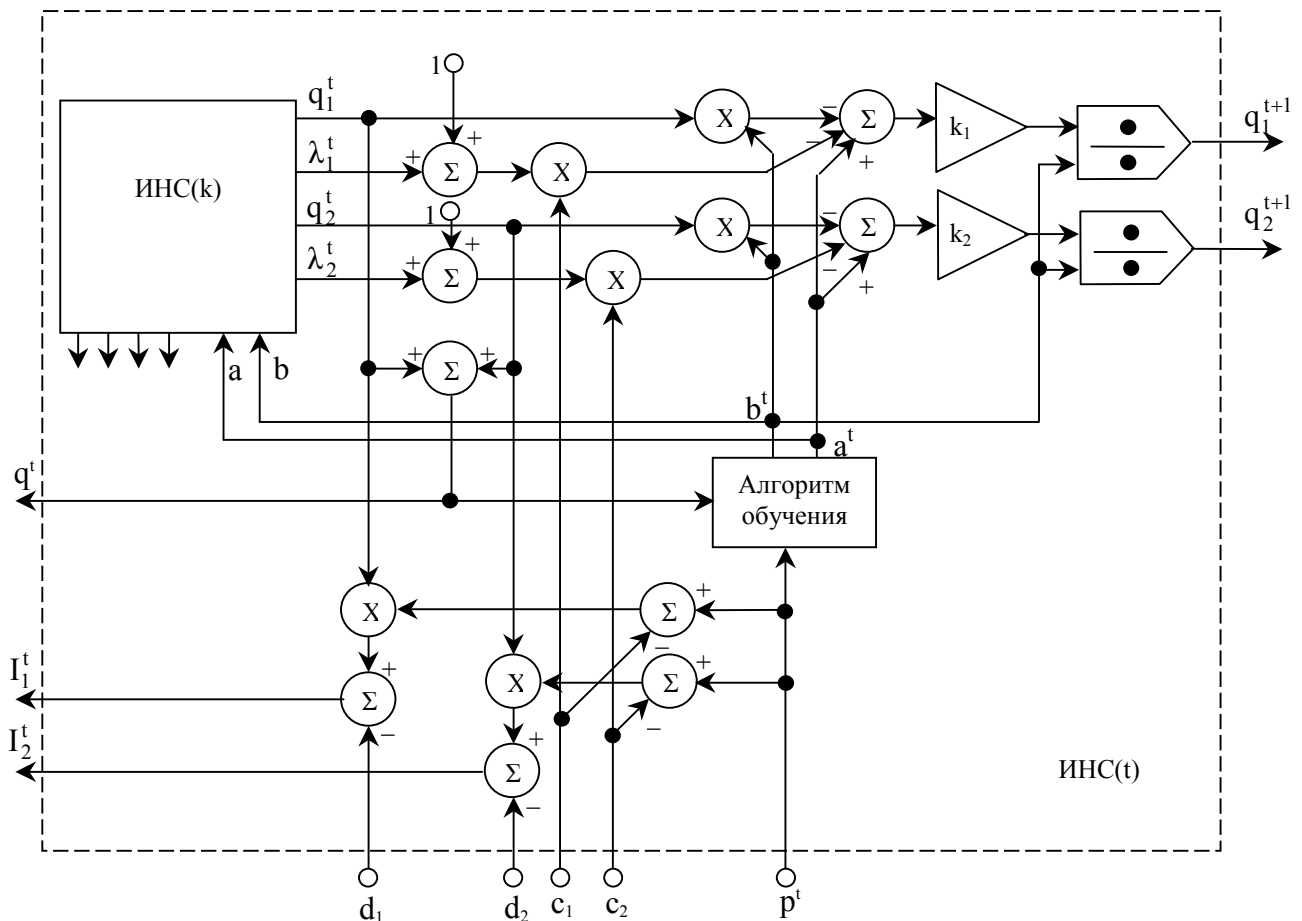


Рис. 3. Искусственная нейронная сеть реального времени

Украины, 1997. 257с. 5. *Бодянский Е.В., Матусовский Г.А.* Математичне моделювання тіньової економіки на основі теоретико-ігрового підходу // Використання досягнень науки і техніки у боротьбі зі злочинністю. Матеріали наук.-практ. конф. Харків: Право, 1988. С.119-122. 6. *Волгин Л.Н.* Принцип согласованного оптимума. М: Сов. радио, 1977. 144с. 7. *Rojas R.* Neural Networks. A Systematic Introduction. Berlin: Springer-Verlag, 1996. 502p. 8. *Scherer A.* Neuronale Netze. Grundlagen und Anwendungen. Braunschweig / Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, 1997. 249S. 9. *Cichocki A., Unbehauen R.* Neural Networks for Optimization and Signal Processing. Stuttgart: Teubner, 1993. 526p.

Поступила в редколлегию 20.08.99

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Куценко А.С.

Бодянский Евгений Владимирович, д-р техн. наук, профессор кафедры технической кибернетики ХТУРЭ. Научные интересы: теория адаптивных систем, искусственные нейронные сети, техническая диагностика. Увлечения: фелинология, восточные учения, японская поэзия. Адрес: Украина, 310166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-98-90.

Любчик Леонид Михайлович, д-р техн. наук, профессор кафедры системного анализа и управления ХГПУ, лауреат Государственной премии Украины, член IEEE. Научные интересы: теория адаптивных и обучающихся систем, робастное управление, обратные задачи динамики. Адрес: Украина, 310002, Харьков, ул. Фрунзе, 21.

E-mail: lyubchik@lotus.kpi.kharkov.ua

Матусовский Григорий Абрамович, д-р юрид. наук, профессор кафедры криминалистики Национальной юридической академии им. Ярослава Мудрого, зав. сектором НИИ изучения проблем преступности Академии правовых наук Украины. Научные интересы: межнаучные связи криминалистики, математико-криминалистические методы, экономическая криминалистика. Увлечения: символика, геральдика. Адрес: Украина, 310022, Харьков, а/я 4539.

Плисс Ирина Павловна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник ПНИЛ АСУ ХТУРЭ. Научные интересы: адаптивные системы обработки информации и управления. Увлечения: фелинология, приготовление экзотических блюд. Адрес: Украина, 310166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-98-90.