

5. Kozlov D.I. *Upravleniye kosmicheskimi apparatami zondirovaniya Zemli* [Earth sensing space-craft Management]. Moscow. Mashinostroyeniye Publ., 1998. 368 p.
6. Mostovoi J.A *Leksii po tekhnologii razrabotki programmogo obespecheniya. Uchebnoye posobiye* [Lectures on software development technology. Tutorial]. Samara, PSUTI Publ., 2014. 178 p.
7. Venttsel E.S. *Issledovaniye operatsiy. Zadachi, printsipy, metodologiya: Uchebnoye posobiye* [Operations research. Objectives, principles, methodology: Textbook. Manual for schools.] Moscow, Drofa Publ., 2004. 208 p.
8. Sandler J. *Tekhnika nadozhnosti system* [Reliability Engineering systems.] Moscow, Nauka Publ., 1966. 300 p.
9. Dech Gustav. *Rukovodstvo k prakticheskomu primeneniyu preobrazovaniya Laplasa* [Guide to the practical application of the Laplace transform]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 288 p.
10. Directum. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Directum> (accessed 07.03.2016)
11. O sisteme Directum [About Directum system]. Available at: <http://www.directum.ru/system> (accessed 10.05.2016)
12. Directum (SED/ECM-sistema). Available at: [http://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Directum_\(СЭД/ECM-система\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Directum_(СЭД/ECM-система)) (accessed 10.05.2016)

Received 20.05.2016

УДК 681.5

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИ НЕРАВНОВЕСНЫХ СИТУАЦИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕКТОРОВ ЭКОНОМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Димов Э.М.¹, Ильясов Б.Г.², Макарова Е.А.², Ефтонова Т.А.²

¹*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ*

²*Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, РФ*

E-mail: ea-makarova@mail.ru

Предложена структура трехуровневой системы управления взаимодействием секторов в составе многосекторной макроэкономической системы с использованием имитационной модели. Разработана процедура формирования интеллектуальных алгоритмов ситуационного управления на основе нейронных сетей Кохонена. Построены самоорганизующиеся карты для кластеров динамически неравновесных ситуаций.

Ключевые слова: ситуационное управление, имитационная модель, нейронные сети, самоорганизующиеся карты, кластер, динамически неравновесная ситуация

Введение

Современные условия развития национальной экономики характеризуются высокой степенью неопределенности и динамизма, что связано с усилением борьбы за ограниченные ресурсы, возрастанием конкуренции, продолжением негативных тенденций поляризации государств по уровню экономического развития. Это, в свою очередь, обуславливает возрастание сложности и необходимости решения проблем прогнозирования и стратегического планирования национальной экономики. Для решения этой проблемы разрабатываются модельные комплексы и программные инструменты, предназначенные для анализа экономических ситуаций на макро-, мезо- и микроуровнях. Одним из известных подходов к разработке таких инструментариев явля-

ется подход, основанный на методе Димова-Маслова (МДМ), согласно которому моделирующий комплекс должен включать имитационную модель функционирования социально-экономической системы, встроенную в контур управления реальной СЭС [1]. Имитационная модель в этом случае является, с одной стороны, средством проведения сценарных исследований с целью формирования управляющих решений, а с другой стороны, средством уточнения сгенерированной по определенному сценарию цепочки управляющих воздействий как по их значениям, так и по времени их реализации [2-4].

В статье рассматриваются вопросы, связанные с решением проблемы разработки системы имитационного моделирования и интеллектуального управления процессом взаимодействия

секторов экономики, функционирующих составе многосекторной макроэкономической системы (ММЭС). На основе разработанных ранее динамических моделей функционирования ММЭС в целом, а также моделей функционирования секторов экономики в составе ММЭС решаются задачи анализа результатов имитационных экспериментов с целью выявления множества типовых ситуаций, требующих принятия решений в динамике [5-8]. Для кластеризации ситуаций применяются нейронные сети Кохонена, предполагающие построение самоорганизующихся карт и выявление кластеров динамически неравновесных ситуаций и их характеристик, важных с точки зрения формирования управляющих решений в области регулирования финансовых потоков на различных уровнях декомпозиции ММЭС.

Структура системы интеллектуальной поддержки процедур управления процессом взаимодействия секторов экономики ММЭС

Под многосекторной макроэкономической системой понимается система общественного производства, которая осуществляется в масштабах страны, выполняется взаимодействующими секторами экономики и регулируется органами государственного управления [6]. Рассматривается взаимодействие четырех секторов экономики: реального сектора, сектора домохозяйств и секторов финансовых и государственных учреждений.

Система интеллектуальной поддержки процедур управления процессом взаимодействия секторов ММЭС [5-7] строится в классе иерархических систем управления и содержит три уровня управления, при разработке которых применяются принципы обратной связи, адаптации и ситуационного управления (рисунок 1). Нижний уровень управления включает контуры управления, построенные на основе принципа обратной связи и предназначенные для регулирования процессов расхода финансовых ресурсов четырьмя секторами экономики в отдельности путем формирования управляющих воздействий $U_1(t) = \{U_{11}(t), U_{12}(t), U_{13}(t), U_{14}(t)\}$.

Второй уровень управления предназначен для формирования управляющих воздействий $U_2(t)$, корректирующих плановые темпы расхода ресурсов секторами экономики на основе системной информации $X(t)$ о состоянии всех подсистем ММЭС. Эта информация представлена текущими значениями рыночных индикаторов (уровня цен, процентной ставки, цен на ресурсы), а также

объема накопленных запасов секторов. Алгоритмы адаптации поведения всех секторов ММЭС относятся к классу алгоритмов адаптации по входному (задающему) сигналу. Отличия между ними заключаются в составе множеств информационных и потоковых связей, используемых для корректировки поведения секторов. Конкретизация алгоритмов адаптации выполняется при разработке динамических моделей поведения секторов ММЭС.

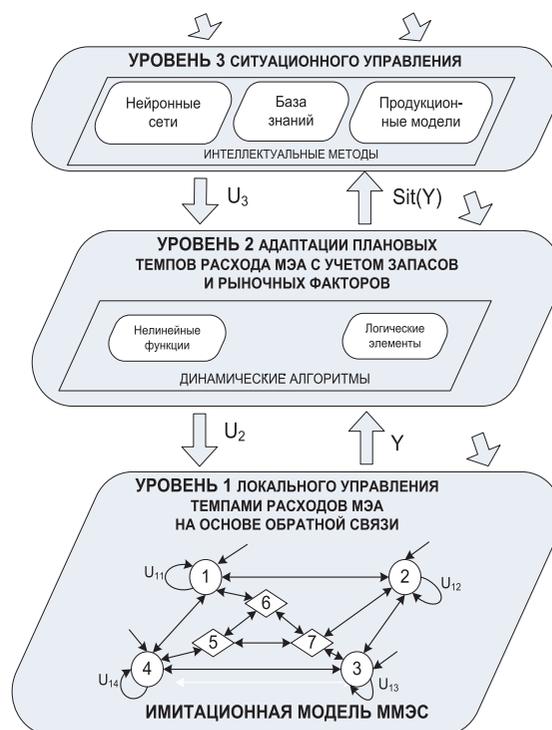


Рис. 1. Уровни управления в системе интеллектуальной поддержки процедур управления взаимодействием секторов ММЭС на основе имитационной модели

Третий (верхний) уровень управления построен на основе принципа ситуационного управления, предполагающего выполнение классификации текущей ситуации $Sit_i(Y)$ и преобразования ее в желаемую $Sit_j(Y^0)$ путем принятия множества решений $U(t)$. Применение ситуационного подхода предполагает использование знаний о текущих значениях множества макроэкономических индикаторов (темпах потоков, объемах запасов, рыночных факторах) как интегральную системную информацию, характеризующую состояние МЭС в целом, а также и ее отдельных функциональных подсистем. Реализация принципа ситуационного управления осуществляется посредством анализа текущего состояния в определенные («реперные») моменты времени, важные с позиции принятия решений. Верхний

уровень управления предназначен для решения задачи координации функционирования секторов путем своевременного принятия решений, направленных на перераспределение потоков финансовых ресурсов, и соответствует принятию решений государственными органами власти.

В соответствии с целями политики макроэкономической стабилизации цель управления макроэкономической системой определяется как обеспечение плановых темпов выпуска валового внутреннего продукта (ВВП), формирования расходов и получения доходов секторами ММЭС при условии поддержания требуемых уровней инфляции и безработицы. Необходимость государственного вмешательства в экономику обусловлена неэффективностью адаптационных возможностей рыночных механизмов, не способных противодействовать негативным влияниям факторов внешней среды и как следствие – непропорциональному перераспределению запасов финансовых ресурсов.

Для выполнения функций регулирования нижнего уровня управления разработаны управляющие алгоритмы в классе динамических непрерывных моделей, действующие в автоматическом режиме. Для выполнения функций второго уровня управления алгоритмы адаптации плановых темпов расхода ресурсов представлены в виде правил – продукций. Поскольку алгоритмы являются динамическими и должны работать в режиме модельного времени, производственные правила реализованы в виде процедурных знаний, встроены в динамические модели функционирования секторов МЭС и функционируют в автоматическом и автоматизированном режимах [5-6].

Функциональные особенности верхнего уровня управления требуют применения интеллектуальных технологий для решения слабоформализуемых задач принятия решений с участием человека [10]. Особенность решения задачи классификации макроэкономических ситуаций состоит в необходимости выполнения человеком многопараметрического анализа ситуаций на основе большого количества макроэкономических индикаторов. Трудности такого анализа состоят: в недостаточности статистической информации о значениях макроэкономических показателей; в сложности формирования зависимостей при классификации ситуаций в динамике и принятии решений, а также в необходимости проведения многочисленных экспериментов с имитационной динамической моделью ММЭС и анализа большого объема экспериментальных данных

как по отдельному эксперименту, так и по всем экспериментам в целом [11-12]. Перечисленные проблемы приводят к целесообразности применения нейросетевых методов для классификации макроэкономических ситуаций.

Особенности предлагаемого подхода к нейросетевой кластеризации ситуаций в динамике

Обучение нейронной сети предлагается проводить на основе экспериментальных данных, полученных при работе с динамической моделью. Это обусловлено тем, что после разработки (и согласно системной цели выполнения процесса моделирования как этапа системного анализа) динамическая модель превращается в средство для генерации новых знаний. Извлечение знаний осуществляется на основе интеллектуального анализа результатов многократного проведения имитационных экспериментов, которые заносятся в базу экспериментальных данных [1-3; 9-12]. Из всех известных методов нейросетевого анализа данных наиболее предпочтительным является применение нейронных сетей (НС) Кохонена [11]. Это обусловлено следующими причинами.

1. Если рассматривать процедуру проводимого анализа экспериментальных данных с позиции строгой формализации, то ей соответствует задача кластеризации. Постановка задачи кластеризации в отличие от задачи классификации не требует предварительного определения принадлежности объекта какому-либо кластеру. Как правило, отнесение ситуации к определенному классу выполняется экспертным путем, и это неизбежно привносит элемент субъективности в формирование выборки. Поэтому более целесообразным представляется выполнение вначале предварительного анализа данных, например с применением компонентного анализа, затем решение задачи кластеризации и в завершение сопоставление полученных результатов.

2. Полученное отображение многомерного пространства экспериментальных данных на плоскость в виде самоорганизующихся карт (СОК) обладает богатыми выразительными возможностями. Наглядное цветное отображение многомерного пространства экспериментальных данных на картах в разрезе отдельных признаков позволяет быстро дать качественную оценку каждому кластеру.

3. Визуальное представление кластеров на СОК хорошо интерпретируется. На картах выделяются области, объединяющие: кластеры ситуаций, более благоприятных, чем плановые; кла-

стеры плановых ситуаций; кластеры умеренно неблагоприятных ситуаций; кластеры очень неблагоприятных ситуаций, соответствующих зонам риска. По расположению текущей ситуации на СОК можно сформулировать качественную (на основе цветовой гаммы) и количественную (на основе матрицы расстояний для многомерного пространства) характеристики степени близости текущей ситуации к зоне риска.

Необходимо особо отметить, что возможность количественной оценки текущей ситуации может быть использована для определения эффективности принимаемых решений при управлении, цель которого представлена вектором желаемых значений параметров системы, формирующих кластер плановых ситуаций в многомерном признаковом пространстве.

Для решения задачи формирования правил поддержки принятия решений предлагается применение технологии экспертных систем, позволяющей не только учесть знания эксперта, основанные на его опыте и профессионализме, но и учесть знания эксперта о закономерностях динамики функционирования МЭС, полученные им в процессе работы с динамической моделью МЭС при проигрывании различных вариантов управляемых сценариев.

Открытым остается вопрос согласования во времени процессов функционирования различных уровней иерархической системы интеллектуальной поддержки управления МЭС: процесса работы динамических управляемых моделей МЭС нижнего уровня иерархии, процессов функционирования динамических алгоритмов адаптации среднего уровня, а также процессов работы алгоритмов интеллектуальной ППР верхнего уровня управления.

Ответом на этот вопрос является выбор технологии имитационного моделирования в качестве платформы, предоставляющей исследователю возможность использовать достоинства как динамических моделей, так и интеллектуальных методов поддержки принятия решений, а также согласовать во времени их работу [1; 3-4; 7].

Имитационное моделирование как парадигма компьютерного моделирования и экспериментального исследования динамики управления сложными системами позволяет:

- объединить в единой программной среде модели разных классов и обеспечить их согласованную работу в режиме модельного времени;
- визуализировать динамику происходящих процессов;

- предоставить возможность гибкого сочетания автоматических и автоматизированных режимов корректировки параметров нелинейных динамических моделей в процессе проведения экспериментов;

- обеспечить возможность принятия решений человеком в процессе моделирования при согласовании с рекомендациями подсистемы интеллектуальной ППР.

Взаимодействие нейросети и имитационной модели обеспечивается путем применения обученной сети Кохонена в требуемые моменты времени, важные с позиций анализа состояния процесса функционирования ММЭС и принятия решений.

Таким образом, на верхнем уровне управления взаимодействием секторов ММЭС с помощью построения нейронных сетей Кохонена решаются следующие задачи:

- построение кластеров ситуаций в многомерном пространстве управляемых координат $Y(t)$ с помощью технологий кластерного и нейросетевого анализа;

- построение самоорганизующихся карт ситуаций;

- выделение на построенных картах областей кластеров: плановых, умеренно благоприятных, умеренно неблагоприятных, очень благоприятных и очень неблагоприятных ситуаций;

- анализ причин возникновения неблагоприятных ситуаций путем проведения дополнительной кластеризации ситуаций и анализа статистики по признакам, не участвующим в обучении;

- повторное обучение разработанных нейронных сетей Кохонена при исследовании новых типов ситуаций.

Процедура формирования интеллектуальных алгоритмов анализа ситуаций функционирования ММЭС

Назначение процедуры состоит в формировании алгоритмов классификации ситуаций в динамике при взаимодействии с имитационной моделью ММЭС на третьем уровне иерархии системы управления.

В обобщенном виде процедура формирования интеллектуальных алгоритмов анализа ситуаций, возникающих при взаимодействии секторов экономики ММЭС, представлена на рис. 2. Кластеризация ситуаций представляет собой процесс последовательной декомпозиции множества ситуаций по нескольким классификационным признакам, различающимся по уровням

анализа процесса взаимодействия секторов ММЭС.



Рис. 2. Схема процедуры формирования интеллектуальных алгоритмов анализа ситуаций, возникающих при взаимодействии секторов экономики

Рассматриваются три уровня анализа: первый уровень ММЭС в целом; второй уровень производственных секторов, взаимодействующих в составе реального сектора, в качестве которых рассматриваются энергосырьевой, фондосоздающий и потребительский производственные сектора; третий уровень взаимодействия секторов ММЭС с учетом рынков благ и денег и типа динамически неравновесных режимов функционирования секторов.

При формировании обучающих выборок учитывается фактор времени, анализ которого необходим при выделении этапов распространения возмущений по контурам процесса взаимодействия секторов ММЭС. Выделены два этапа: этап воздействия на совокупный спрос при изменении расходов, а также этап воздействия на совокупное предложение, изменение которого следует за изменением спроса с запаздыванием и обусловлено обновлением основного капитала производственных секторов, взаимодействующих в составе реального сектора.

При диагностике неравновесных состояний секторов производится анализ типа неравновесных режимов функционирования ММЭС, которые вызваны нарушением балансовых соотношений, характеризующих отклонения по финансовым потокам расходов как в рамках отдельно взятого сектора, так и между секторами ММЭС.

При применении нейросетевой кластеризации в качестве обучающей выборки используются данные о результатах имитационных экспериментов с динамической моделью ММЭС для последующей визуализации многопараметрической информации о текущих ситуациях ММЭС в виде самоорганизующихся карт (СОК).

Выделены три этапа процедуры формирования интеллектуальных алгоритмов анализа ситуаций, возникающих при функционировании ММЭС.

Этап 1 кластеризации ситуаций на уровне ММЭС в целом содержит следующие шаги.

Шаг 1.1. Формируется множество признаков $X_1 = \{x_{1j}\}, j = 1, m1$, необходимых для анализа обобщенных характеристик ММЭС.

Шаг 1.2. Составляется план проведения n_1 имитационных экспериментов, определяется перечень возмущающих воздействий $F(t)$, определяются моменты времени, в которые производится запись вектора текущего состояния ММЭС в базу экспериментальных данных (БЭД).

Шаг 1.3. Выполняется построение СОК кластеров неравновесных ситуаций, характеризую-

щих тенденции движения ММЭС в целом. Для этого вначале формируется обучающая выборка, далее выполняется построение и обучение НС₁ Кохонена, визуализация СОК₁ и определение k , кластеров.

Последовательность действий шага 1.3. представлена схемой процедуры построения самоорганизующихся карт кластеров (см. рис.3), которая является инвариантной по отношению к способу выделения кластеров, применяемых на любом v -ом этапе кластеризации, когда уже сформирована БЭД по результатам имитационных экспериментов.



Рис. 3. Схема процедуры построения самоорганизующихся карт кластеров

Процедура построения СОК является циклической, количество повторных обучений определяется соблюдением критериев качества кластеризации. В случае несоблюдения их в первую очередь предпринимается попытка изменить визуализацию СОК без повторного обучения, и только после неудачных попыток различных визуализаций СОК выполняется либо изменение настроек параметров обучения, либо изменение состава классификационных признаков.

Целесообразно применить методы интеллектуального анализа данных, в частности компонентного анализа, для выявления признаков, обладающих наибольшей дискриминантной силой, а также для предварительного определения количества сгущений (кластеров) в многомерном пространстве исходных признаков.

Шаг 1.4. Определяется число кластеров P , требующих анализа и принятия управляющих решений. Далее для каждого из P кластеров выполняются дополнительная кластеризация ситуаций на этапах 2 и 3.

Этап 2 кластеризации на уровне производственных секторов содержит следующие шаги.

Шаг 2.1. Формируется множество признаков $X_2 = \{x_{2qj}\}$, $j = 1, m_2$, характеризующих темпы расходов и объемы запасов основного капитала производственных секторов.

Шаг 2.2. Составляется план проведения n_{2q} имитационных экспериментов, определяются сценарии поведения ММЭС и моменты времени для анализа процесса взаимодействия секторов ММЭС, формируется БЭД.

На основе полученной БЭД формируются две обучающие выборки: первая выборка включает векторы состояний процесса взаимодействия секторов ММЭС, соответствующих периоду изменения совокупного спроса на рынках благ, связанного с изменениями расходов; а вторая выборка соответствует периоду изменения совокупного предложения на рынках благ, связанного с вводом приобретенного оборудования в эксплуатацию, ростом производства и, следовательно, совокупного предложения.

Шаг 2.3. Выполняется построение $СОК_{2q1}$ кластеров неравновесных ситуаций, характеризующих динамику темпов расходов производственных секторов на этапе $T1$ изменения совокупного спроса согласно представленной на рис.2 инвариантной процедуре: строятся $НС_{2q1}$, $СОК_{2q1}$, определяются k_{2q1} кластеров.

Шаг 2.4. Выполняется построение $СОК_{2q2}$ кластеров неравновесных ситуаций, характеризующих динамику объемов запасов основного капитала производственных секторов, также согласно представленной на рис. 3 инвариантной процедуре: строятся $НС_{2q2}$, $СОК_{2q2}$, определяются k_{2q2} кластеров.

Особенностью этапа кластеризации является учет фактора времени, который важен с позиций анализа этапов распространения возмущающих и управляющих воздействий по контурам процесса взаимодействия секторов ММЭС с учетом дина-

мики изменения совокупного спроса и совокупного предложения.

Этап 3 соответствует уровню секторов ММЭС и предполагает выполнение кластеризации на основе анализа трех типов балансовых соотношений, упорядоченных по степени важности с позиций анализа динамики неравновесных режимов протекания процесса взаимодействия секторов ММЭС.

Во-первых, это баланс между интегральными потоками инвестиций и сбережений, рассматриваемый на уровне ММЭС в целом. Нарушение этого баланса определяет либо режим накопления финансовых средств в банковском секторе экономики (сбережения превышают инвестиции, что характерно для последнего десятилетия развития экономики России), либо режим расходования запасов накопленных ранее финансовых средств в банковском секторе экономики, в противоположном случае. Этот баланс характеризует степень согласованности разных секторов ММЭС. Оставшиеся два типа балансовых соотношений характеризуют темпы накопления и расходования финансовых ресурсов на цели инвестирования в рамках отдельных производственных секторов.

Во-вторых, это группа балансовых соотношений, характеризующих суммарные валовые инвестиции на уровне производственных секторов и их сопоставление с амортизационными отчислениями. Соблюдение этих балансов соответствует точке «нулевого роста» по каждому производственному сектору, когда валовые инвестиции сектора с учетом заемных банковских инвестиций равны амортизационным отчислениям. Нарушение этих балансов позволяет определить тенденции движения сектора: либо это рост инвестиционных расходов с последующим ожидаемым ростом валового выпуска, либо это сокращение инвестиций с возможным снижением выпуска в будущем (рецессии).

В-третьих, это группа балансовых соотношений, характеризующих собственные валовые инвестиционные расходы на уровне производственных секторов и их сопоставление с нераспределенной валовой прибылью. Нарушение этих балансов характеризует либо режим накопления нераспределенной валовой прибыли производственным сектором (валовая прибыль превышает собственные инвестиционные расходы), либо режим расходования собственных средств – в противном случае.

Этап 3 процедуры анализа ситуаций функционирования ММЭС включает следующие шаги.

Шаг 3.1. Формируется множество признаков $X_2 = \{x_{3qj}\}$, $j = \overline{1, m3}$, характеризующих тип неравновесных режимов секторов ММЭС.

Шаг 3.2. Составляется план проведения n_{3q} имитационных экспериментов, определяются сценарии поведения ММЭС и моменты времени для анализа протекающих процессов, формируется БЭД.

Шаг 3.3. Выполняется построение $СОК_{3q}$ кластеров неравновесных ситуаций, характеризующих тип неравновесных режимов функционирования секторов ММЭС; согласно представленной на рис. 3 процедуре: строятся $НС_{3q}$, $СОК_{3q}$, определяются k_{3q} кластеров.

Разработка нейросетевых алгоритмов кластеризации ситуаций на уровне ММЭС в целом

На рис. 4 представлены множества X_i признаков для четырех НС Кохонена, требуемых для кластеризации ситуаций на трех последовательно выполняемых этапах [11].

Для выполнения кластеризации на первом этапе разрабатывается нейронная сеть $НС_1$, которая предназначена для кластеризации неравновесных ситуаций на основе обобщенной информации о состоянии воспроизводственного процесса ММЭС в целом. Для анализа кластеров динамически неравновесных ситуаций с помощью $НС_1$ сформирован вектор входных признаков:

$$X_1 = \{ \dot{A}d, \dot{A}s, P, \dot{Y}_{inctotal}, \dot{Y}d_H, \dot{C}, \dot{I}, \dot{I}b, \dot{T}_{sum}, \dot{G}, r, \dot{X}n_1 \},$$

где $\dot{A}d, \dot{A}s, \dot{Y}_{inctotal}, \dot{I}b$ – темпы формирования совокупного спроса, совокупного предложения, ВВП по доходам, валовых инвестиций реального сектора, соответственно; $\dot{Y}d_H, \dot{C}$ – темпы формирования совокупных доходов и потребления сектора домашних хозяйств; $\dot{I}, \dot{T}_{sum}, \dot{G}$ – темпы формирования инвестиционных кредитов сектором финансовых учреждений, суммарных налогов фирм и населения, госзакупок и госинвестиций; $\dot{X}n_1$ – темпы формирования чистого экспорта сырья энерго-сырьевым сектором; P и r – текущий уровень цен и рыночной ставки процента.

Для построения каждой из четырех НС составлен план проведения экспериментов, определены множества анализируемых моментов времени, на основе динамической модели процесса взаимодействия секторов ММЭС проведены имитационные эксперименты по различным сценариям. Результатом экспериментальных исследований является база экспериментальных данных, состоящая из четырех файлов, каждый из которых содержит до 100 записей.

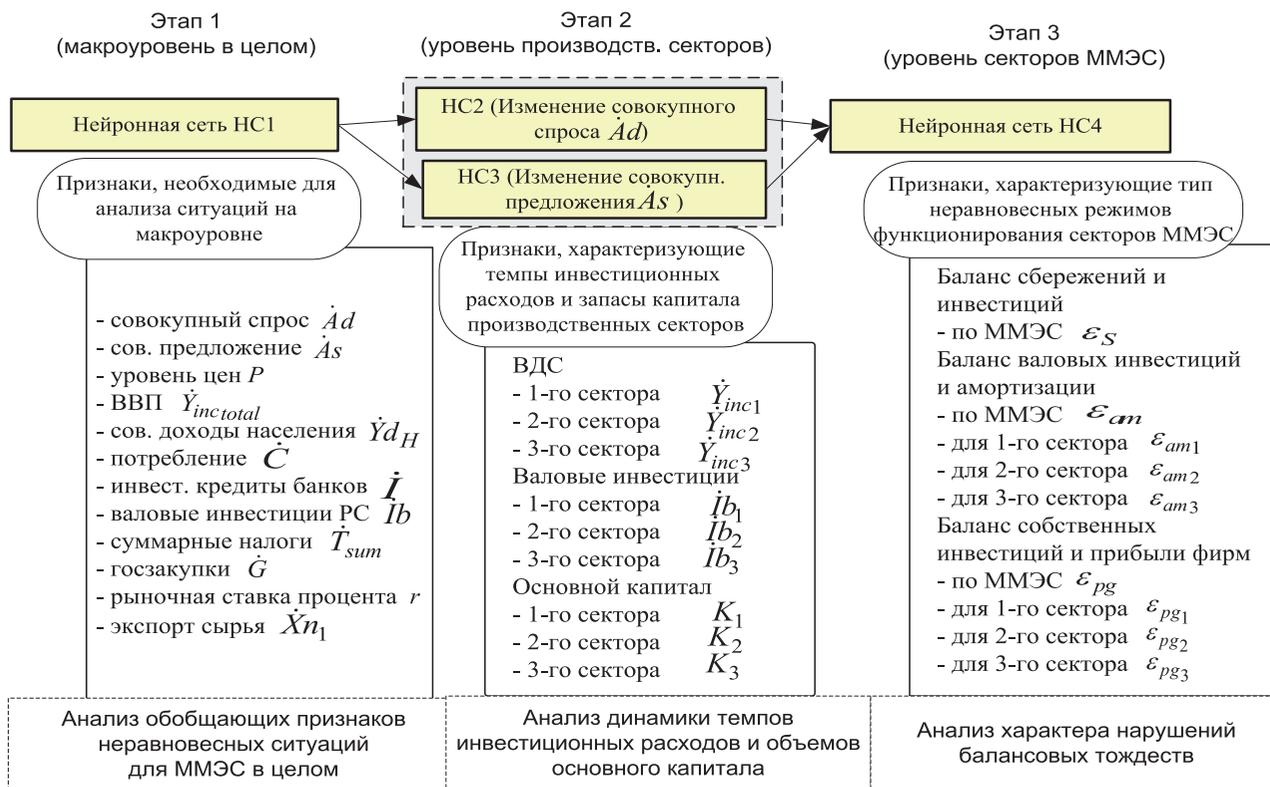


Рис. 4. Множества признаков для многоэтапной кластеризации ситуаций взаимодействия секторов ММЭС

Первоначальное число кластеров k_j задается равным $k_j = 6$ по количеству возможных групп неравновесных ситуаций ММЭС, выделенных в соответствии с анализируемыми тенденциями изменения экономики (тенденции роста ВВП и рецессии). Один из кластеров (кластер O_j) является кластером ситуаций, незначительно отличающихся от плановых, далее называемым кластером плановых ситуаций. Группа ситуаций роста экономики представлена четырьмя кластерами с учетом типов роста (кластеры I_j – инвестиционный тип роста, 2_j – потребительский тип роста, 3_j – экспортно-ориентированный тип роста, 5_j – рост, связанный с увеличением госзакупок). Ситуации экономического спада представлена кластером 4_j . На основе построенных по результатам обучения НС₁ самоорганизующихся карт СОК₁ (см. рис. 5) проводится анализ и формирование правил классификации ситуаций.

Для описания кластеров используется порядковая шкала, представленная на рис.6 со значениями в интервале от DM (Decrease Much – значительное уменьшение) до IM (Increase Much – значительное увеличение), что позволяет отразить степень удаления значений признака в каком-либо кластере от его значений в кластере плановых ситуаций. Плановый режим обозначен буквой М (Maintain).

Рост ВВП наблюдается при движении по картам вправо и вниз от планового кластера. Таким образом, наибольший рост ВВП наблюдается в ситуациях, соответствующих инвестиционному типу роста, которые представлены кластером I_j в правом нижнем углу карт Кохонена. Ситуация рецессии наблюдается на карте в левой нижней части карты.

Интерес представляют ситуации рецессии (кластер 4_j), обусловленные снижением экспорта сырьевых ресурсов как компонента совокупного спроса и требующие принятия управляющих решений. Эта ситуация соответствует снижению спроса иностранного сектора на продукцию энерго-сырьевого сектора, что приводит к состоянию рецессии не только самого сектора, но и всей экономики. Для ситуаций данного кластера и представлены все последующие этапы кластеризации.

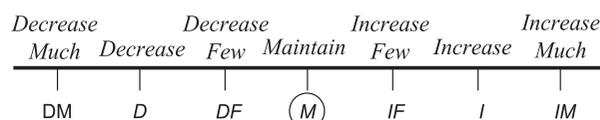


Рис. 6. Порядковая шкала для измерения значений признаков

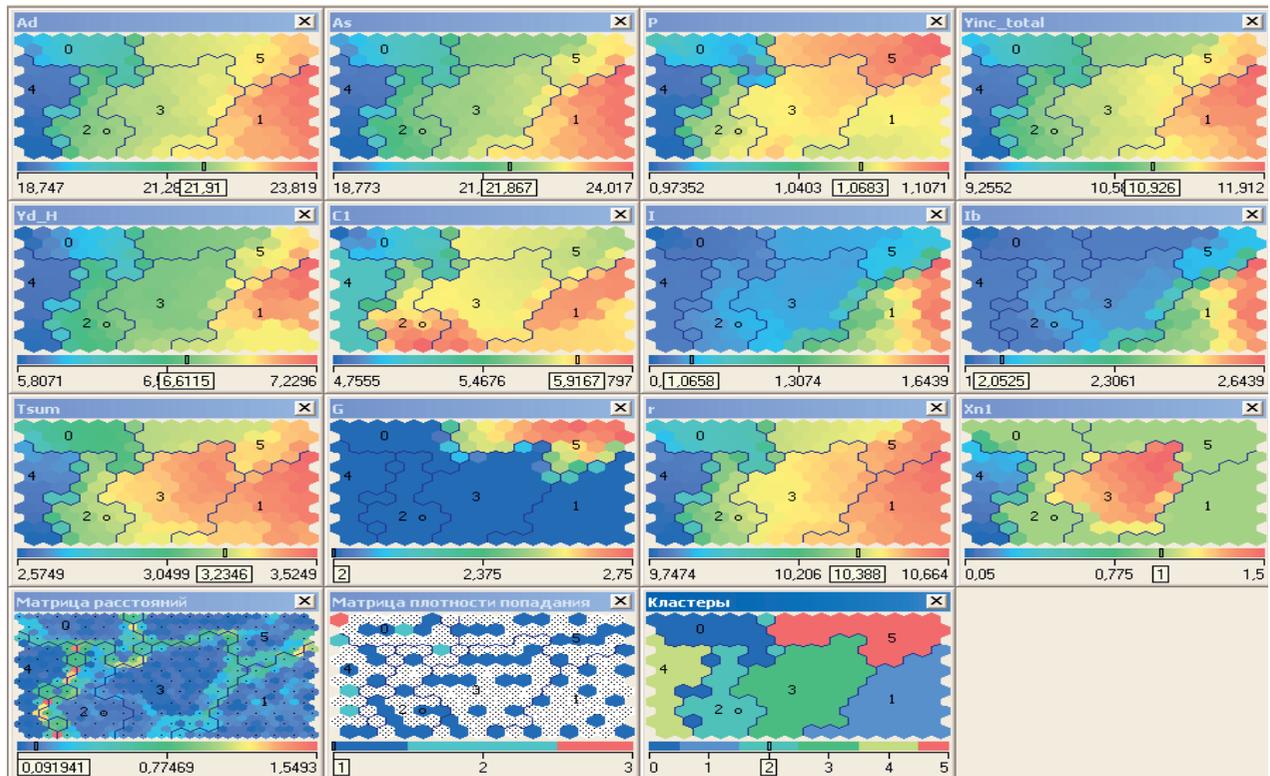


Рис. 5. Самоорганизующиеся карты $СОК_1$ кластеров неравновесных ситуаций, характеризующих процесс взаимодействия секторов на уровне ММЭС в целом

В таблице 1 представлены сводные характеристики построенных кластеров ситуаций для $НС_1$ с учетом приведенной порядковой шкалы, показанной на рис. 6.

Разработка нейросетевых алгоритмов кластеризации ситуаций взаимодействия производственных секторов ММЭС

На втором этапе кластеризации разработаны вторая и третья нейронные сети, которые строятся для одинакового множества признаков, характеризующих состояние производственных секторов, взаимодействующих в составе ММЭС посредством рынков благ и денег. Вторая ней-

ронная сеть $НС_{241}$ соответствует режиму взаимодействия секторов ММЭС на этапе изменения инвестиционных ресурсов в экономике, а третья нейронная сеть $НС_{242}$ – на этапе изменения основного капитала секторов. Для этапа изменения инвестиционных ресурсов ММЭС характерно изменение инвестиционного спроса как компонента совокупного спроса $\dot{A}d$, а для этапа изменения основного капитала характерно изменение валового выпуска секторов и, соответственно, совокупного предложения $\dot{A}s$. Последний этап удален во времени от предыдущего на величину, соответствующую длительности максимального из установленных инвестиционных лагов секторов модели.

Таблица 1. Сводные характеристики кластеров неравновесных ситуаций для $СОК_1$

Признаки \ Кластер	$\dot{A}d$	$\dot{A}s$	P	$\dot{Y}_{inc\ total}$	$\dot{Y}d_H$	\dot{C}	i	i_b	\dot{T}_{sum}	\dot{G}	r	$\dot{X}n_1$
0_1	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
4_1	D	D	D	D	D	M	M	M	DM	M	D	DM
2_1	IF	IF	IF	IF	IF	IM	IF	IF	M	M	IF	M
3_1	IF	IF	I	I	I	I	IF	IF	I	M	I	IM
5_1	I	I	IM	I	I	IF	IF	IF	IF	I	I	M
1_1	IM	IM	I	IM	IM	I	IM	IM	IM	M	IM	M

Вектор входных признаков для HC_{241} и HC_{242} представлен в виде:

$$X_{24} = \{ \dot{Y}_{inc1}; \dot{Y}_{inc2}; \dot{Y}_{inc3}; K_1; K_2; K_3; \dot{I}b_1; \dot{I}b_2; \dot{I}b_3 \},$$

где \dot{Y}_{inc_i} , $i = \overline{1,3}$ – темпы формирования ВДС производственными секторами; K_i – объем основного капитала секторов; $\dot{I}b_i$ – темпы формирования валовых инвестиций секторов с учетом инвестиций, формируемых банковским сектором.

Нейронная сеть HC_{241} соответствует своевременной диагностике неравновесных режимов процесса взаимодействия секторов ММЭС, поскольку строится для ситуаций рецессии экономики по причине снижения совокупного спроса на этапе изменения инвестиционных ресурсов. Через определенный промежуток времени, определяемый инвестиционным лагом, снижение инвестиций сказывается на объеме основного капитала секторов и, соответственно, на темпах выпуска продукции.

Нейронная сеть HC_{242} соответствует диагностике с отставанием, поскольку выполняется для ситуаций рецессии экономики по причине снижения совокупного предложения – на этапе изменения основного капитала секторов.

Первоначальное количество кластеров k_{241} задается равным $k_{241} = 4$ по количеству возможных групп неравновесных ситуаций, характерных для секторов ММЭС, формируемых при их взаимодействии на рынках благ с учетом воспроизводственных пропорций ММЭС. Сводные характеристики построенных кластеров макроэкономических ситуаций для HC_{241} представлены в таблице 2.

Кластер плановых ситуаций $СОК_{241}$ обозначен номером 2_2 . Ситуации экономического спада по причине снижения экспорта сырья представлены кластером 3_2 . Этот кластер соответствует ситуациям, представленным в $СОК_1$ кластером 4_1 . Кластеры 0_2 и 1_2 включают ситуации, связанные

с распространением рецессии, возникшей в энерго-сырьевом секторе, на фондосоздающий и потребительский производственные секторы. Кластер ситуаций снижения темпов формирования валовых инвестиций фондосоздающим сектором граничит с кластером плановых ситуаций и обозначен номером 0_2 . Кластер ситуаций снижения темпов формирования банковских инвестиций для потребительского сектора находится ниже планового кластера и обозначен номером 1_2 .

Следует особо отметить различные значения признаков $\dot{I}b_i$ и K_i (темпов формирования валовых инвестиций и объемов основного капитала) для одних и тех же кластеров на картах. Это объясняется тем, что на этапе изменения темпов формирования инвестиционных ресурсов причинами рецессии является снижение совокупного спроса, но при этом предложение не изменяется – экономика продолжает функционировать, используя прежние основные фонды, и некоторое время способна сохранять достаточно высокие темпы выпуска (эффект демпфирования).

После истечения определенного периода снижение инвестиций сказывается на основном капитале, он изнашивается и выбывает из процесса производства, что незамедлительно сказывается на темпах выпуска (ситуации, описываемые в HC_{242}). Поэтому особое значение имеет анализ данных процессов в динамике с помощью $СОК_{241}$ и $СОК_{242}$, отражающих названные этапы. Решения, принимаемые на том или ином этапе, также отличаются между собой. Анализ карт $СОК_{241}$ первого этапа позволяет своевременно выявить причины начинающейся рецессии, а принятие решений на этом этапе позволит предупредить дальнейшее негативное развитие ситуации.

Для карт $СОК_{242}$ кластер плановых ситуаций обозначен номером 0_3 . Ситуации экономического спада по причине снижения экспорта сырья представлены кластером 2_3 . Кластеры 1_3 и 3_3 включают описанные ранее ситуации, связанные с распространением рецессии, возникшей в энерго-сырьевом секторе, на фондосоздающий

Таблица 2. Сводные характеристики кластеров неравновесных ситуаций для $СОК_{241}$

Признаки \ Кластер	\dot{Y}_{inc1}	\dot{Y}_{inc2}	\dot{Y}_{inc3}	K_1	K_2	K_3	$\dot{I}b_1$	$\dot{I}b_2$	$\dot{I}b_3$
2_2	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
1_2	<i>D</i>	<i>DF</i>	<i>M</i>	<i>DF</i>	<i>IF</i>	<i>M</i>	<i>DF</i>	<i>M</i>	<i>D</i>
0_2	<i>DM</i>	<i>DM</i>	<i>I</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>IM</i>	<i>DM</i>	<i>DM</i>	<i>IF</i>
3_2	<i>DM</i>	<i>M</i>	<i>IM</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>IM</i>	<i>DM</i>	<i>M</i>	<i>IF</i>

и потребительский производственные секторы, соответственно. Отметим, что, так как $СОК_{242}$ описывают ситуации рецессии на этапе изменения основного капитала секторов, то одни и те же кластеры на картах признаков $\dot{I}b_i$, K_i и \dot{Y}_{inci} имеют одинаковые характеристики. Решения, принимаемые на данном этапе, считаются запаздывающими решениями, или «решениями с отставанием», тогда как на предыдущем этапе решения являются своевременными. Сводные характеристики построенных кластеров ситуаций для $НС_{242}$ представлены в таблице 3.

Таким образом, применение $НС_{241}$ для кластеризации ситуаций является своевременным и основывается на анализе карт темпов формирования валовых инвестиций, которые являются наиболее информативными. Карты для основного капитала K_i носят информационный характер, так как внесенные возмущения еще не сказались на объемах основного капитала. С помощью $НС_{241}$ можно своевременно предсказать падение темпов производства через определенное время, связанное с выбытием капитала. Применение $НС_{242}$ для анализа состояния секторов ММЭС является диагностикой с отставанием, карты темпов формирования валовых инвестиций и капитала повторяют друг друга; требуемые решения должны задействовать значительный ресурсный потенциал для преодоления тенденций рецессии.

Разработка нейросетевых алгоритмов кластеризации неравновесных ситуаций с учетом нарушения балансовых соотношений

На третьем этапе разрабатывается четвертая нейронная сеть $НС_{34}$, которая предназначена для анализа балансовых соотношений и выявления типов неравновесия на основе системных критериев, описанных выше.

С помощью анализа отклонений между темпами формирования сбережений и инвестиционных ресурсов, валовых инвестиций и амортизационных отчислений, прибыли и собственных инвестиций производственных

секторов можно судить об изменении того или иного вида инвестиционных ресурсов и выявлять причины и источник возникновения неравновесных режимов взаимодействия секторов ММЭС.

Вектор входных признаков для $НС_{34}$ представлен в виде:

$$X_3 = \{ \varepsilon_s; \varepsilon_{am}; \varepsilon_{am1}; \varepsilon_{am2}; \varepsilon_{am3}; \varepsilon_{pg}; \varepsilon_{pg1}; \varepsilon_{pg2}; \varepsilon_{pg3} \},$$

где ε_s – отклонение между темпами формирования сбережений и инвестиций по ММЭС в целом; ε_{am} и ε_{ami} – отклонения между темпами формирования валовых инвестиций и амортизации по ММЭС и по секторам, соответственно; ε_{pg} и ε_{pgi} – отклонения между темпами формирования собственных инвестиций и прибыли фирм по ММЭС и по секторам, соответственно. При базовом равновесном режиме формирования процесса взаимодействия секторов ММЭС все названные отклонения равны нулю.

Построенные $СОК_{34}$ представлены на рис.7. Первоначальное число кластеров k_{34} задается равным $k_{34} = 6$ по количеству возможных групп ситуаций нарушения равновесия при формировании процесса взаимодействия секторов ММЭС, выделенных в соответствии со структурными особенностями системы. Кластер плановых ситуаций $СОК_{34}$ обозначен номером 2_4 и включает ситуации, незначительно отличающиеся от плановых, равновесных ситуаций.

Интегральная характеристика кластеров и их расположения состоит в следующем. Плановый кластер 24 расположен в средней части карты. Ухудшение ситуаций происходит в направлении к левой части карты. Улучшение ситуаций происходит в направлении к правой части карты. Сводные характеристики построенных кластеров макроэкономических ситуаций для $НС_{34}$ представлены в таблице 4.

Таблица 3. Сводные характеристики кластеров неравновесных ситуаций для $СОК_{242}$

Признаки Кластер	\dot{Y}_{inc1}	\dot{Y}_{inc2}	\dot{Y}_{inc3}	K_1	K_2	K_3	$\dot{I}b_1$	$\dot{I}b_2$	$\dot{I}b_3$
0_3	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
3_3	<i>D</i>	<i>DF</i>	<i>DM</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>D</i>	<i>DF</i>	<i>M</i>	<i>DM</i>
1_3	<i>DM</i>	<i>D</i>	<i>D</i>	<i>DM</i>	<i>DM</i>	<i>DF</i>	<i>DM</i>	<i>DM</i>	<i>DF</i>
2_3	<i>D</i>	<i>M</i>	<i>I</i>	<i>DF</i>	<i>M</i>	<i>IF</i>	<i>DF</i>	<i>M</i>	<i>IF</i>

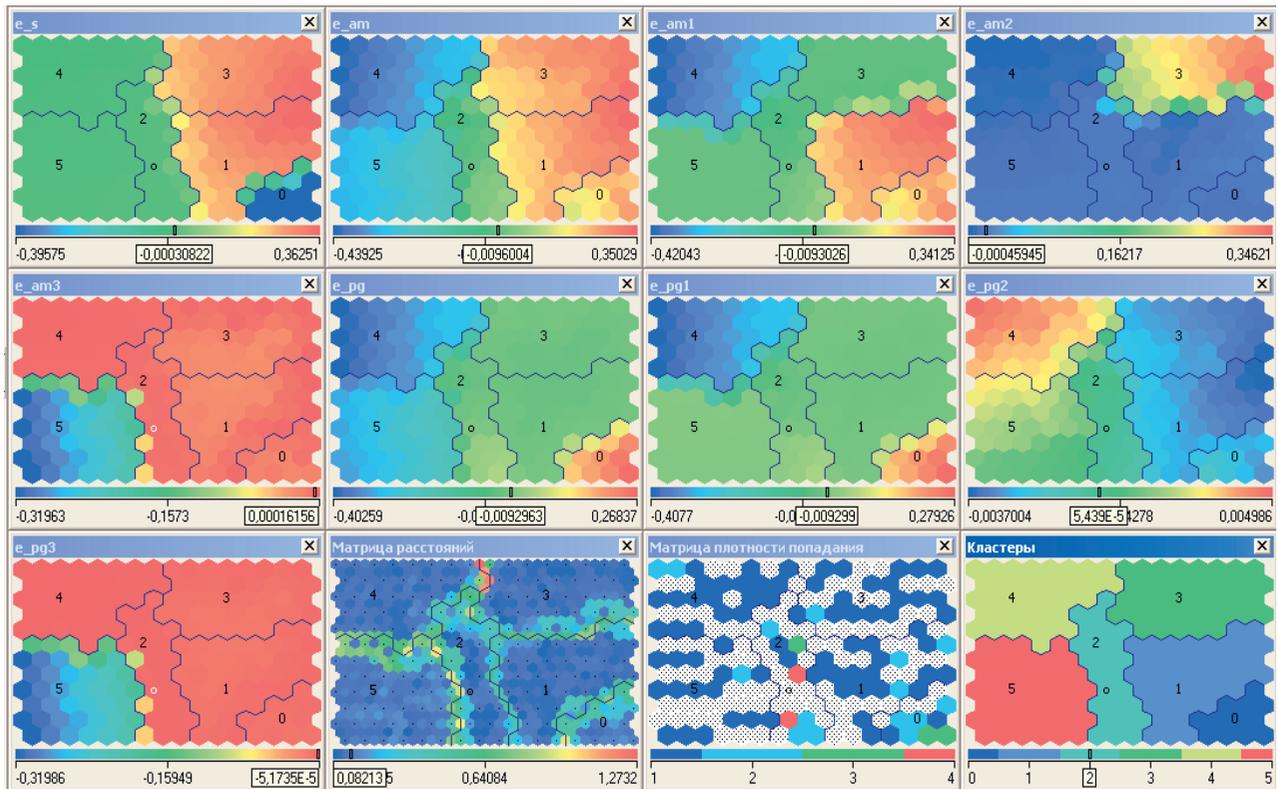


Рис. 7. Самоорганизующиеся карты $СОК_{34}$ для неравновесных ситуаций процесса взаимодействия секторов ММЭС

Рассмотрим кластеры неблагоприятных ситуаций 4_4 и 5_4 . Кластер 4_4 включает ситуации нарушения баланса макроэкономических показателей процесса взаимодействия секторов ММЭС, связанного с нарушением плановых темпов формирования собственных инвестиций энергосырьевым сектором в сторону снижения. Для ситуаций этой группы характерными являются негативные отклонения темпов формирования валовых инвестиций и амортизационных отчислений $\dot{I}b < \dot{A}m$, собственных инвестиций и прибыли $\dot{I}b_{ii} < \dot{P}g_{i1}$ для первого сектора и для ММЭС в целом. Это соответствует ситуации отсутствия

чистых инвестиций и режиму накопления инвестиционных ресурсов:

$$\varepsilon_{am1} < 0, \varepsilon_{pg1} < 0, \varepsilon_S \approx 0, \varepsilon_{am} < 0, \varepsilon_{pg} < 0.$$

Кластер 5_4 включает похожие ситуации нарушения баланса, но связанные с нарушением плановых темпов формирования собственных инвестиций потребительским сектором и характеризуется схожими отклонениями для третьего сектора и ММЭС в целом:

$$\varepsilon_{am3} < 0, \varepsilon_{pg3} < 0, \varepsilon_S \approx 0, \varepsilon_{am} < 0, \varepsilon_{pg} < 0.$$

Таблица 4. Сводные характеристики кластеров неравновесных ситуаций для $СОК_{34}$

Признаки Кластер	ε_S	ε_{am}	ε_{am1}	ε_{am2}	ε_{am3}	ε_{pg}	ε_{pg1}	ε_{pg2}	ε_{pg3}
2_4	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
4_4	<i>M</i>	<i>DM</i>	<i>DM</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>DM</i>	<i>DM</i>	<i>I</i>	<i>M</i>
5_4	<i>M</i>	<i>D</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>DM</i>	<i>D</i>	<i>M</i>	<i>IF</i>	<i>DM</i>
3_4	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>M</i>	<i>IM</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>D</i>	<i>M</i>
1_4	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>D</i>	<i>M</i>
0_4	<i>DM</i>	<i>IF</i>	<i>IF</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>DF</i>	<i>M</i>

Кластер 3_4 включает ситуации нарушения баланса макроэкономических показателей процесса взаимодействия секторов ММЭС, связанного с нарушением плановых темпов использования заемных средств для инвестирования фондосоздающим сектором в сторону увеличения. Для ситуаций этой группы характерным является негативное отклонения темпов формирования собственных инвестиций и прибыли $\dot{I}b_{22} < \dot{P}g_{21}$ для второго сектора и для ММЭС в целом, тогда как валовые инвестиции превышают амортизацию $\dot{I}b > \dot{A}m$ (за счет заемных средств, а не собственных). Это соответствует режиму накопления собственных инвестиционных ресурсов. При этом совокупные банковские инвестиции превышают сбережения, что соответствует режиму инвестирования ранее накопленных ресурсов:

$$\varepsilon_{am2} > 0, \varepsilon_{pg2} < 0, \varepsilon_S > 0, \varepsilon_{am} > 0, \varepsilon_{pg} < 0.$$

Кластер 1_4 включает похожие ситуации нарушения баланса, однако связанные с нарушением функционирования энергосырьевого сектора. Отклонения аналогичны:

$$\varepsilon_{am1} > 0, \varepsilon_{pg1} < 0, \varepsilon_S > 0, \varepsilon_{am} > 0, \varepsilon_{pg} < 0.$$

Кластер 0_4 включает ситуации рассогласованного поведения секторов, что выражается в увеличении темпов сбережения населением, но сохранении банками темпов формирования инвестиционных кредитов на прежнем уровне. Инвестиции осуществляются фирмами за счет собственных средств. Существует опасность возникновения «парадокса бережливости», при котором желание населения больше сберегать вступает в противоречие с целями инвесторов ограничить вложения в экономику в условиях неблагоприятного инвестиционного климата [5]. Для ситуаций этой группы характерным является превышение валовых инвестиций над амортизацией $\dot{I}b > \dot{A}m$ за счет собственных средств, а не заемных, хотя ресурсы для кредитования в экономике имеются. Ситуации этой группы соответствуют режиму накопления инвестиционных ресурсов в банковской системе и расходованию фирмами ранее накопленных ресурсов для инвестирования:

$$\varepsilon_S < 0, \varepsilon_{am} > 0, \varepsilon_{pg} > 0.$$

Анализ кластеров, построенных с помощью разработанных нейронных сетей позволяет сделать следующие выводы.

Заключение

Разработана структура системы интеллектуальной поддержки процедур управления взаимодействием секторов в составе ММЭС в классе иерархических систем, содержащей три уровня управления с использованием принципов обратной связи, адаптации и ситуационного управления. Особенность предложенной структуры состоит, во-первых, в применении имитационной модели ММЭС для проведения сценарных экспериментов и, во-вторых, в применении нейросетевых и продукционных моделей для решения слабоформализуемых задач многопараметрического анализа динамически неравновесных ситуаций. Объединение динамических и интеллектуальных моделей в единой информационной среде и согласование их работы в режиме модельного времени выполнено на основе методов имитационного моделирования.

Предложена процедура формирования интеллектуальных алгоритмов ситуационного управления процессом функционирования ММЭС, которая предполагает выполнение многоэтапной кластеризации динамически неравновесных ситуаций на основе нейронных сетей Кохонена. Нейросетевая кластеризация ситуаций представляет собой процесс последовательной декомпозиции множества ситуаций по нескольким классификационным признакам, различающимся по выделенным уровням анализа процесса функционирования ММЭС. Рассмотренные уровни включают, во-первых, уровень ММЭС в целом; во-вторых, уровень производственных секторов, взаимодействующих в составе реального сектора, в качестве которых рассматриваются энергосырьевой, фондосоздающий и потребительский производственные секторы; и, в-третьих, уровень взаимодействия секторов ММЭС с учетом рынков благ и денег и типа динамически неравновесных режимов функционирования секторов в составе ММЭС.

Разработаны четыре нейронные сети Кохонена, реализующие многоэтапную кластеризацию ситуаций ММЭС в динамике, а также построены самоорганизующиеся карты. Первая нейронная сеть Кохонена выполняет кластеризацию ситуаций на основе обобщенной информации о состоянии ММЭС в целом с учетом типа экономического роста или спада. Вторая и третья нейронные сети Кохонена предназначены для дополнительной класте-

ризации неравновесных ситуаций рецессии, обусловленных снижением спроса на энергосырьевые товары со стороны иностранного сектора и учитывают тенденции изменения совокупного спроса и совокупного предложения. Четвертая нейронная сеть предназначена для анализа причин нарушения балансовых соотношений и определения типов неравновесных режимов взаимодействия секторов ММЭС.

Литература

1. Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В. Снижение неопределенности выбора управленческих решений с помощью метода статистического имитационного моделирования // Информационные технологии. №6, 2014. – С.51-57.
2. Димов Э.М., Маслов О.Н. О точности и адекватности метода статистического имитационного моделирования // Инфокоммуникационные технологии. Т.5, №1, 2007. – С. 60-67.
3. Димов Э.М. Имитационное моделирование и оптимизация управления в сложных производственных системах. Саратов: Изд-во СГУ, 1983. – 165 с.
4. Ильясов Б.Г., Димов Э.М., Макарова Е.А., Ефтонова Т.А. Динамическая модель функционирования сложного многоотраслевого производственного комплекса с учетом запасов капитала и воспроизводственных взаимосвязей // Инфокоммуникационные технологии. Т. 13, №3, 2015. – С. 281-290.
5. Ильясов Б.Г., Дегтярева И.В., Макарова Е.А., Карташева Т.А. Интеллектуальные алгоритмы принятия решений при управлении инвестиционным процессом макроэкономической системы // Научно-технические ведомости СПб-ГПУ. Т.2, № 6, 2011. – С. 116-122.
6. Макарова Е.А. Динамические модели функционирования экономических агентов и их взаимодействия в рамках воспроизводственного процесса с учетом запасов капитала // Инфокоммуникационные технологии. Т.13, №2. 2015. – С. 164-176.
7. Макарова Е.А. Формирование сценариев управления поведением секторов экономики на основе динамической модели макроэкономического кругооборота // Вестник УГАТУ, 13:35, 2009. – С. 136-147.
8. Макарова Е.А. Программный комплекс для формирования базы экспериментальных данных по результатам имитационного моделирования // Научно-технические ведомости СПб-ГПУ. №6, 2009. – С. 85-88.
9. Павловский Ю.Н., Белотелов Н.В., Бродский Ю.И. Имитационное моделирование. М.: ИЦ «Академия», 2008. – 240 с.
10. Демидова Л.А., Кираковский В.В., Пылькин А.Н. Принятие решений в условиях неопределенности. М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 288 с.
11. Кохонен Т. Самоорганизующиеся карты. Пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 655 с.
12. Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2013. – 312 с.

Получено 12.09.2016

Димов Эдуард Михайлович, д.т.н., профессор Кафедры экономических и информационных систем Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. 8-906-340-37-41. E-mail: e.m.dimov@gmail.com

Ильясов Барый Галеевич, д.т.н., профессор Кафедры технической кибернетики (ТК) Уфимского государственного авиационного технического университета (УГАТУ). E-mail: ilyasov@tc.ugatu.ac.ru

Макарова Елена Анатольевна, д.т.н., профессор Кафедры ТК УГАТУ. E-mail: ea-makarova@mail.ru

Ефтонова Татьяна Анатольевна, к.т.н., старший преподаватель Кафедры экономической информатики УГАТУ. E-mail: kartashev@yandex.ru

NEURAL NETWORK ANALYSIS OF DYNAMICALLY NONEQUILIBRIUM SITUATIONS OF ECONOMY SECTORS INTERACTION BY USING SIMULATING MODEL

Dimov E.M.¹, Ilyasov B.G.², Makarova E.A.², Eftonova T.A.²

¹*Povolzhsky State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation*

²*Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation*

E-mail: ea-makarova@mail.ru

We propose hierarchical structure for economy sectors interaction management system as a part of multisector macroeconomic system. This structure contains three management levels. We used principles of feedback, adaptation and situation management. Developed structure differs by utilization of simulating models for scenario experiments, and application of neural networks and production models for solution the weakly formalized problems of multi-path analysis for dynamically nonequilibrium situations. We propose procedure for design of intelligent algorithms of economy sector interaction process situation management. The procedure provides multi-stage clustering of dynamically nonequilibrium situations, which is based on Kohonen neural networks. Neural net clustering of situations implies coherent decomposition of situations set over several classification criterions differing by selected levels of economy sector interaction process analysis. We developed Kohonen neural networks for multi-stage clustering of situations and designed self-organizing maps for clusters of dynamically nonequilibrium situations.

Keywords: situation management, simulating model, neural networks, self-organizing maps, cluster, dynamically nonequilibrium situation

DOI: 10.18469/ikt.2016.14.3.09

Dimov Eduard Mikhailovich, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 23 Lev Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; Professor of the Department of Economic Information Systems, Doctor of Technical Science, Professor. Tel.: +79063403741 E-mail: e.m.dimov@gmail.com

Ilyasov Bury Galeevich, Ufa State Aviation Technical University, 12 K. Marksa str., Ufa, 450008, Russian Federation; Professor of the Department of Technical Cybernetics, Doctor of Technical Science. E-mail: ilyasov@tc.ugatu.ac.ru

Makarova Elena Anatoljevna, Ufa State Aviation Technical University, 12 K. Marksa str., Ufa, 450008, Russian Federation; Professor of the Department of Technical Cybernetics, Doctor of Technical Science, Associate Professor. E-mail: ea-makarova@mail.ru.

Eftonova Tatiana Anatoljevna, Ufa State Aviation Technical University, 12 K. Marksa str., Ufa, 450008, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Technical Cybernetics, PhD of Technical Science. E-mail: kartashev@yandex.ru .

References

1. Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Ju.V. Snizhenie neoppeledenosti vybopa uppravlencheskih peshenij s pomoshh'ju metoda statisticheskogo imitacionnogo modelipovaniya [Reducing Uncertainty in a Choice of Management Desicions Using Statistical Simulation]. *Informacionnye tehnologii*, 2014, no. 6, pp. 51-57.
2. Dimov E.M., Maslov O.N. O tochnosti i adekvatnosti metoda statisticheskogo imitacionnogo modelirovaniya [About accuracy and adequacy of the statistical simulation method]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2007, vol. 5, no. 1, pp. 60-67.
3. Dimov E.M. *Imitacionnoe modelirovanie i optimizacija upravlenija v slozhnyh proizvodstvennyh sistemah* [Simulated modeling and management optimization of complex industrial systems]. Saratov, SGU Publ., 1983. 165 p.
4. Ilyasov B.G., Dimov E.M., Makarova E.A., Eftonova T.A. Dinamicheskaya model funktsionirovaniya slozhnogo mnogootraslevogo proizvodstvennogo kompleksa s uchetom zapasov kapitala i vosproizvodstvennykh vzaimosvyazey [Dynamic model of complicated diversified manufacturing complex operation under taking into account capital stock and reproduction relationships] *Informacionnye tehnologii*, 2015, no. 3, pp. 281-290. doi: 10.18469/ikt.2015.13.3.08.

5. Ilyasov B.G., Degtyareva I.V., Makarova E.A., Kartasheva T.A. Intellektual'nye algoritmy prinjatija reshenij pri upravlenii investicionnym processom makroekonomicheskoy sistemy [Intelligent algorithms for decision making in the management of the investment process of macroeconomic system]. *Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU*, 2011, vol. 6-2, no. 138, pp. 116-122.
6. Makarova E.A. Dinamicheskiye modeli funktsionirovaniya ekonomicheskikh agentov i ikh vzaimodeystviya v ramkakh vosproizvodstvennogo protsesssa s uchetom zapasov kapitala [Dynamic models for economic agents operation and interaction under reproduction process adjusted for capital stocks] *Informacionnye tehnologii*, 2015, no. 2, pp. 164-176. doi: 10.18469/ikt.2015.13.2.09.
7. Makarova E.A. Formirovanie scenarijev upravlenija povedeniem sektorov jekonomiki na osnove dinamicheskoy modeli makroekonomicheskogo krugoborota [Formation of scenarios managements of behaviour of sectors of economy on the basis of dynamic model macroeconomic circle]. *Vestnik UGATU*, 2009, vol. 13, no. 2, pp. 136-147.
8. Makarova E.A. Programmnyy kompleks dlya formirovaniya bazy eksperimentalnykh dannykh po rezultatam imitatsionnogo modelirovaniya [Software for forming base of experimental data based on simulation results]. *Nauchno-tehnicheskiye vedomosti SPbGPU*, 2009, no. 6, pp. 85-88.
9. Pavlovskij Ju.N., Belotelov N.V., Brodskij Ju.I. *Imitacionnoe modelirovanie* [Simulation modelling]. Moscow, Academia Publ., 2008. 240 p.
10. Demidova L.A., Kirakovskiy V.V., Pylkin A.N. *Prinyatiye resheniy v usloviyakh neopredelennosti* [Decision-making under uncertainty]. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2012. 288 p.
11. Kokhonen T. *Samoorganizuyushchiesya karty* [Self-organizing maps]. Moscow, BINOM. Laboratoriya znaniy, 2008. 655 p.
12. Kulaichev A.P. *Metody i sredstva kompleksnogo analiza dannykh* [Methods and tools for complex data analysis]. Moscow, FORUM: INFRA-M Publ., 2013. 312 p.

Received 12.09.2016

УДК 62.523

РАЗРАБОТКА ВЕЙВЛЕТ-НЕЧЕТКОГО КОНТРОЛЛЕРА СИСТЕМЫ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Червяков Н.И., Колдаев А.И.

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, РФ

E-mail: chervyakov@yandex.ru

В статье представлен вейвлет-нечеткий контроллер в системе векторного управления электромагнитным моментом трехфазного асинхронного двигателя, который удовлетворяет задаче регулирования скорости в замкнутой системе управления. Схема управления с вейвлет-нечетким контроллером исследована при различных динамических условиях эксплуатации. Результаты моделирования демонстрируют эффективность предложенного контроллера по сравнению с традиционным ПИ-контроллером.

Ключевые слова: дискретное вейвлет-преобразование, нечеткая логика, асинхронный двигатель, векторное управление, надежность

Введение

Асинхронные двигатели (АД) широко применяются в промышленности. Это обусловлено их высокой надежностью, простотой конструкции, относительно низкой стоимостью и невысокими требованиями к обслуживанию. Тем не менее асинхронные двигатели сложны из-за нелинейности их параметров. В частности, сопротивление ротора и следовательно постоянная времени ротора изменяются в зависимости от условий эксплуатации. Таким образом, повышение качества управления АД остается актуальной проблемой. Однако с развитием методов векторного

управления АД стали главными кандидатами для использования в приложениях с высокой производительностью [1]. Эффект развязки каналов потокосцепления и момента двигателя приводит к возможности независимого регулирования магнитного потока и электромагнитного момента, как при управлении двигателем постоянного тока с независимым возбуждением. Несмотря на свои преимущества, метод векторного управления имеет недостатки в виде чувствительности к изменениям параметров двигателя, таких как постоянная времени ротора и неточных измерений магнитного потока.