

Б. Г. Ильясов, И. В. Дегтярева, Е. А. Макарова, Р. Р. Валитов

СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИМ ВОСПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрены вопросы разработки системы интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении воспроизводственным процессом макроэкономической системе (МЭС) на основе нейросетевых технологий и имитационного моделирования. Предложена процедура нейросетевого анализа экспериментальных данных, классификации макроэкономических ситуаций и поддержки принятия решений при управлении МЭС. Построены самоорганизующиеся карты Кохонена, сформированы правила принятия решений и сценарии управляемого и неуправляемого поведения МЭС в виде цепочки чередующихся во времени кластеров динамически неравновесных и равновесных ситуаций. *Имитационная модель; макроэкономическая система; неравновесная ситуация; кластеризация ситуаций; нейронная сеть Кохонена; самоорганизующиеся карты; сценарий управления*

Современные тенденции развития российской экономики, характеризующиеся высокой степенью динамизма, нелинейностью протекающих процессов, а также наличием ресурсных ограничений, настоятельно требуют проведения интенсивных исследований в области прогнозирования и стратегического планирования развития национальной экономики, а также поддержки принятия решений на макроэкономическом уровне [1]. Одним из направлений исследований в этой области является разработка модельных комплексов и программных инструментариев, основанных на интеллектуальных технологиях и имитационном моделировании [2–8].

С целью формирования поддержки процедур анализа сценариев управления макроэкономической системой (МЭС) ведется разработка системы имитационного моделирования и интеллектуальной поддержки управления (СИМ ИПУ) воспроизводственным процессом МЭС [9, 10]. СИМ ИПУ воспроизводственным процессом МЭС предназначена для обеспечения поддержки исследователя при выполнении им следующих процедур моделирования и управления: имитационного моделирования на основе динамической модели воспроизводственного процесса МЭС в автоматическом и автоматизированном режимах; формирования базы экспериментальных данных о динамике поведения МЭС; интеллектуального анализа результатов многократных имитационных экспериментов на основе нейросетевых технологий; формирования правил классификации ситуаций в динами-

ке и принятия решений при реализации различных сценариев макроэкономического регулирования.

В состав СИМ ИПУ воспроизводственным процессом МЭС входят три компонента: система имитационного моделирования, система информационно-аналитической поддержки и система интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении воспроизводственным процессом МЭС [11]. Программное обеспечение (ПО) СИМ ИПУ реализовано на языке Matlab с использованием приложения Simulink, программных продуктов Deductor, Resolver, а также с подключением специальных программных модулей, разработанных на языке С# [10].

В статье рассматриваются вопросы построения третьего компонента, связанные с разработкой моделей интеллектуальной поддержки процедур управления МЭС на основе нейронных сетей и продукционных правил, функционирующих во взаимодействии с системой имитационного моделирования воспроизводственного процесса МЭС.

1. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ МНОГОСЕКТОРНОЙ МЭС

Целью управления воспроизводственным процессом МЭС как сложным динамическим объектом управления (ДОУ) является обеспечение плановых темпов расхода ресурсов \dot{Y}^0 всеми секторами экономики, направленных на производство валового внутреннего продукта

(ВВП) с плановым темпом, при условии соблюдения требуемых воспроизводственных пропорций [12]. В работе рассматриваются общие пропорции воспроизводства, которые определяются соотношением долей потребления, накопления и госрасходов в темпе выпуска ВВП, рассчитанного по расходам. Исследуются два типа количественных соотношений: потребительски-ориентированный (большая доля потребления в темпе выпуска ВВП – до 60–70 %) и инвестиционно-ориентированный (значительная доля инвестиций в темпе выпуска ВВП – до 40 %). Для расчета плановых темпов расхода ресурсов применена модель IS–LM Хикса–Хансена, позволяющая рассчитать значение эффективного спроса \dot{Y}^0 , которое и соответствует желаемому динамически равновесному состоянию МЭС [12].

С позиций управления взаимодействие динамических моделей воспроизводственного процесса МЭС и интеллектуальных алгоритмов классификации и принятия решений реализуется в виде двухуровневой системы управления, функциональная схема которой представлена на рис. 1.

Нижний уровень управления формирует вектора управляющих воздействий $U_{Ri}(t)$ для отдельно взятых подсистем МЭС (секторов) и включает четыре контура управления: реальным сектором; сектором домохозяйств и секторами финансовых и государственных учреждений. Отметим, что модель А5 предназначена для замыкания воспроизводственного цикла по финансовым потокам. Каждый из четырех контуров нижнего уровня построен на основе принципа обратной связи и предполагает корректировку плановых темпов расхода ресурсов $\dot{R}_i^0(t)$, необходимых для выполнения основных функциональных процессов i -м сектором [9, 10]. Принятие решений для i -го сектора осуществляется на основе информации об объемах накопленных запасов $St_i(t)$ с учетом неприкосновенной части $\delta_i(t)$ и заданного интервала времени Δt_i^0 , на который планируется запас. Особенность управления на этом уровне состоит в том, что выполняется либо пропорциональное уменьшение плановых темпов расходов ресурсов сектора, либо последующее за уменьшением – увеличение их в пределах первоначального плана. Продукционные правила, по которым происходит корректировка темпов расхода ресурсов для каждого i -го сектора, являются динамическими, работают в режиме модельного времени и представлены в виде следующей системы продукций:

$$\begin{aligned} R1: \text{ ЕСЛИ } \dot{R}_i^0(t) &\geq (St_i(t) - \delta_i(t)) / \Delta t^0, \\ \text{ ТО } \dot{R}_{\text{cor}i}^0(t) &= (St_i(t) - \delta_i(t)) / \Delta t^0 \text{ И} \\ k_{ci}(t) &= \dot{R}_{\text{cor}i}^0(t) / \dot{R}_i^0(t); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R2: \text{ ЕСЛИ } \dot{R}_i^0(t) &< (St_i(t) - \delta_i(t)) / \Delta t^0, \\ \text{ ТО } \dot{R}_{\text{cor}i}^0(t) &= \dot{R}_i^0(t) \text{ И } k_{ci}(t) = 1. \end{aligned}$$

В правилах выполняется расчет скорректированного планового темпа расхода ресурсов $\dot{R}_{\text{cor}i}^0(t)$ и коэффициента k_{ci} , значение которого требуется для замыкания контура управления i -м сектором в структурной схеме модели [9]. Правила представлены в процедурной форме и реализованы на языке MATLAB в виде m -файлов, встроенных в динамические модели МЭС [9, 10]. Таким образом, алгоритмы управления нижнего уровня работают в автоматическом режиме и обеспечивают гибкую корректировку плановых темпов расхода ресурсов секторов в пределах заранее рассчитанного плана. Перерасчет самих планов должен выполняться на основе анализа большого количества данных как о состоянии МЭС, так и о внешних воздействиях. Эти решения, а также решения, связанные с реализацией государственных стратегий макроэкономического регулирования принимаются на более высоком уровне управления.

Верхний уровень управления построен на основе принципа ситуационного управления и позволяет обеспечить поддержку лицу, принимающему решение (ЛПР), при формировании векторов управляющих воздействий $U(t) = \langle U_0(t), U_1(t), U_2(t), U_3(t), U_4(t) \rangle$, где $U_i(t)$, $i = 1 \div 4$ – вектор управляющих воздействий, связанный с активной деятельностью i -го сектора и включающий, например, корректировки плановых темпов выпуска ВВП, потребления, сбережения, формирования валовых инвестиций. Вектора управлений первых трех секторов связаны только с изменением собственных плановых темпов расхода финансовых ресурсов. Вектор U_4 для сектора государственных учреждений дополнительно включает в себя управляющие воздействия, регулирующие активную деятельность других секторов в составе МЭС и представленные, например, в виде мер по реализации налогово-бюджетной и кредитно-денежной политики. Вектор управляющих воздействий U_0 предполагает воздействие на такие макроэкономические регуляторы, как процентная ставка, предложение денег, на основе которых рассчитываются плановые темпы выпуска ВВП в модели IS-LM.

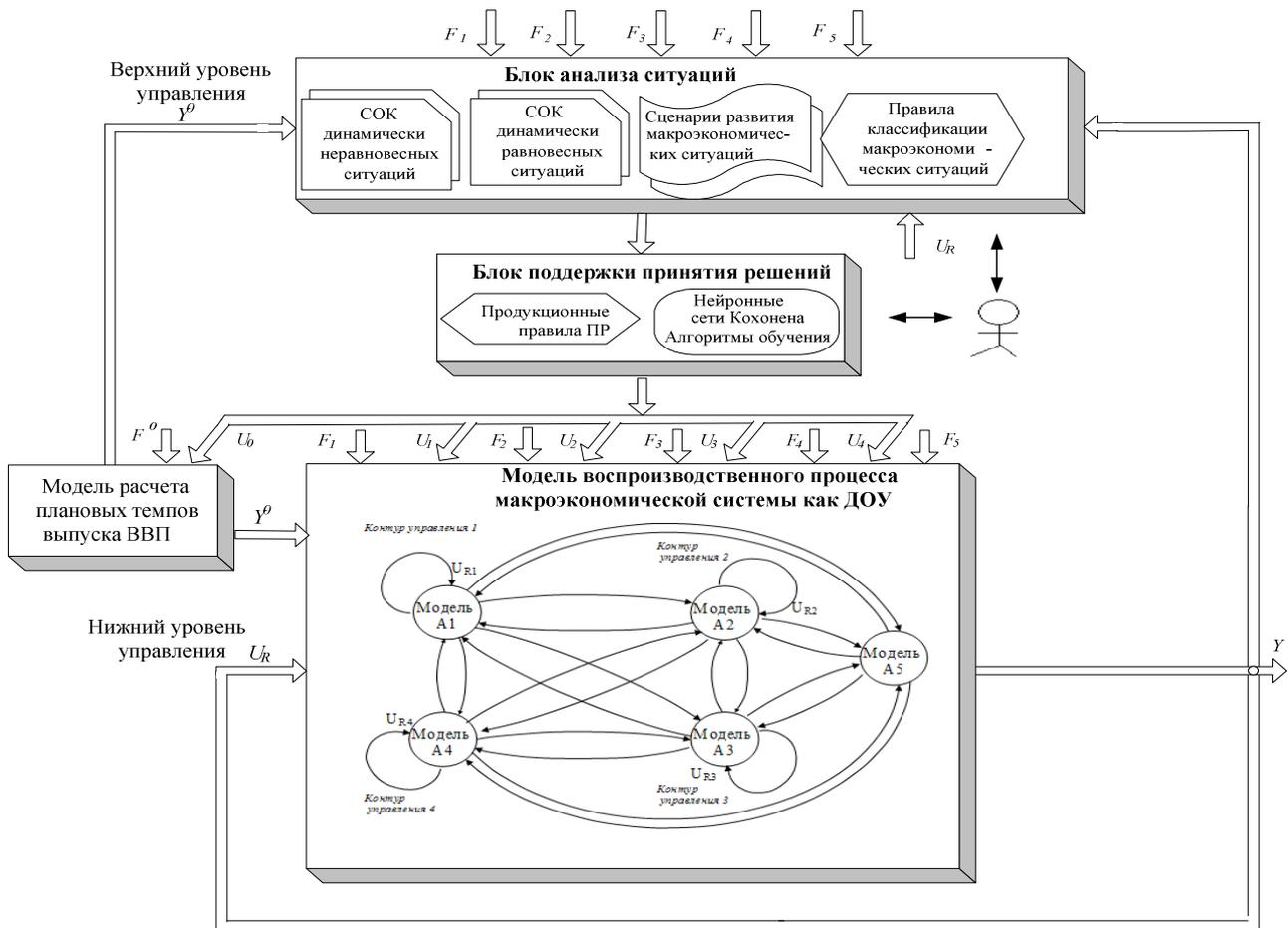


Рис. 1. Функциональная схема интеллектуального управления воспроизводственным процессом МЭС на основе динамической модели

Вектор выходных координат представлен кортежем векторов: $Y(t) = \langle Y_1(t), Y_2(t), Y_3(t), Y_4(t), Y_5(t) \rangle$, где $Y_i(t), i = 1 \div 4$ – вектор выходных координат, характеризующих фактические темпы расхода ресурсов i -м сектором. Внешние воздействия представлены в виде: $F(t) = \langle F_1(t), F_2(t), F_3(t), F_4(t), F_5(t) \rangle$, где вектор $F_i(t), i = 1 \div 4$ внешних возмущений для i -го сектора включает отклонения в размерах темпов формирования расхода ресурсов (например, темпов оплаты труда, налогов, потребления, сбережения) и изменения времен задержки для них.

Введение вектора $F_5(t)$ возмущающих воздействий обусловлено ситуациями, когда управленческие решения по фискальной и монетарной политике, принятые и реализованные на предшествующих периодах, приводят к результатам, тормозящим развитие МЭС. В этом случае они становятся факторами, ухудшающими положение МЭС. Поэтому в работе введен

специальный вектор $F_5(t)$, составляющими которого являются управляющие воздействия прошлых периодов, оказывающие деструктивные действия на экономику. Это могут быть, например, высокие ставки налогообложения, тормозящие развитие бизнеса, либо низкий уровень заработной платы, обуславливающий низкие доходы населения и, следовательно, низкий уровень совокупного спроса.

Блок анализа ситуаций предназначен для определения принадлежности текущей ситуации к типовым неравновесным ситуациям на основе применения нейронных сетей Кохонена. Блок поддержки принятия решений формирует правила принятия решений в требуемые моменты времени на основе информации о распознанной текущей ситуации и с учетом выявленных причин возникновения неблагоприятных ситуаций.

2. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИМ ВОСПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Целесообразность применения нейросетевых технологий для решения задач анализа макроэкономических ситуаций и принятия решений управления верхнего уровня (рис. 1) обусловлена следующими причинами. Разработанная динамическая модель воспроизводственного процесса МЭС является средством генерации новых знаний, извлечение которых осуществляется путем анализа результатов многократного проведения имитационных экспериментов, накопленных в базе экспериментальных данных. Однако выполнение анализа сопряжено со значительными трудностями, которые обусловлены сложностью формирования зависимостей при классификации ситуаций и принятии решений, а также необходимостью обработки значительного количества экспериментальных данных как по отдельному эксперименту, так и по всем экспериментам в целом [13].

Для целей анализа ситуаций и формирования управляющих решений верхнего уровня предлагается применить нейронные сети (НС) Кохонена, к преимуществам которых можно отнести следующее. Во-первых, отличие задачи кластеризации, которую решает сеть Кохонена, от постановки задачи классификации играет здесь только положительную роль: отсутствие необходимости заранее знать принадлежность объекта к какому-либо классу избавляет исследователя от необходимости решать эту проблему при создании обучающей выборки [14]. Во-вторых, это наличие богатых выразительных возможностей наглядного цветового отображения многомерного пространства экспериментальных данных на плоскость самоорганизующихся карт (СОК) в разрезе отдельных признаков, что позволяет быстро дать качественную оценку каждому кластеру. В-третьих, это возможность выделения на картах областей, объединяющих: кластеры ситуаций более благоприятных, чем плановые; кластеры умеренно неблагоприятных ситуаций; кластеры очень неблагоприятных ситуаций, соответствующих зонам риска. При этом степень риска текущей ситуации можно рассматривать как степень ее близости к зоне риска. Например, на рис. 2 представлена СОК для фактического темпа выпуска ВВП $\dot{Y}(t)$. Расположение кластеров ситуаций на карте соответствует постепенному

ухудшению ситуаций в направлении от левого верхнего угла карты к правому ее краю, что отражено изменением цвета от красного (самые лучшие ситуации) в левой части карты до синего (самые неблагоприятные ситуации) в правой части.

В нижней части карты приведен числовой диапазон изменения признака. Кластер 1 с ситуациями, близкими к плановым, расположен в центре СОК. Кластеры, которые непосредственно граничат с плановым, составляют «ближнее окружение». Среди них выделены: область кластеров с более благоприятными ситуациями, чем плановая (кластеры 2, 3, 4), и область кластеров с умеренно неблагоприятными ситуациями (кластеры 5, 6, 7, 8, 9). Те кластеры, которые даже не граничат с кластером плановых ситуаций, составляют «дальнее окружение» и соответствуют очень неблагоприятным ситуациям (кластеры 10, 11).



Рис. 2. Пример самоорганизующейся карты для фактического темпа выпуска ВВП $\dot{Y}(t)$

Предлагается решение следующей цепочки задач с использованием НС Кохонена:

- кластеризация динамически неравновесных ситуаций $\{Sit_{neq i}\}$ и динамически равновесных ситуаций $\{Sit_{eq i}\}$ в многомерном пространстве управляемых координат МЭС;
- формирование правил классификации динамически неравновесных и динамически равновесных ситуаций на основании визуального анализа СОК и анализа статистических данных по построенным кластерам;
- формирование областей кластеров: очень благоприятных, плановых, умеренно неблагоприятных, очень неблагоприятных (зон риска);
- выявление причин возникновения текущих неблагоприятных ситуаций;
- формирование продукционных правил принятия решений и сценариев развития ситуаций в виде цепочек кластеров макроэкономических ситуаций.

Функционирование блока анализа макроэкономических ситуаций в процессе проведения эксперимента предполагает «подключение» нейронных сетей в моменты времени, важные с позиций анализа и принятия решений; распознавание текущей ситуации на основе обученных НС Кохонена и визуализацию текущей ситуации на самоорганизующихся картах для поддержки ЛПР при выполнении им аналитических функций, формирование сценариев управления МЭС.

3. ПРОЦЕДУРА КЛАССИФИКАЦИИ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ И ФОРМИРОВАНИЯ ПРАВИЛ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ МЭС

Разработана схема процедуры классификации ситуаций и формирования правил принятия решений для верхнего уровня управления МЭС (рис. 3). Особенности ее состоят в следующем.

На *этапе 1* составляется план проведения экспериментов. На *этапе 2* определяется множество моментов времени $T = \{t_{j1}\}$, $j_1 = 1 \div l$, в которые должна производиться запись значений элементов кортежа векторов управляемых $Y(t)$ координат из рабочей области среды *MAT-LAB*. Из элементов этих векторов предварительно формируется множество X признаков, участвующих в нейросетевом анализе. С позиций анализа динамики воспроизводственного процесса МЭС в составе множества X целесообразно выделить три группы признаков. Это, во-первых, *темпы* формирования расходов ресурсов (финансовые *потоки*); во-вторых, это *объемы* накопленных финансовых ресурсов (*запасы*); и, в-третьих, это *времена* наступления особых событий (например, времена T_i^+ и T_i^- начала значительного роста и снижения запасов i -го сектора).

На *этапе 3* ведется заполнение файла экспериментальных данных при проведении экспериментальных исследований с динамической моделью воспроизводственного процесса МЭС. Для каждого эксперимента хранятся данные о состоянии объекта исследования в l контрольных моментах времени. Отметим, что в качестве данных о состоянии МЭС используются не только перечисленные элементы кортежа векторов управляемых координат $Y(t)$, но и дополнительная информация в виде кортежа векторов возмущающих воздействий $F(t)$, а также вектор $Y^0(t)$ плановых значений управляемых координат. Несмотря на то, что дополнительная информация не используется при обучении НС, она необходима на последующих этапах при определении причин возникновения неблаго-

приятных ситуаций в динамике для формирования правил принятия решений. Выполняются n экспериментов, в каждом из которых определены l моментов времени для записи информации о состоянии МЭС. В базу экспериментальных данных заносится $(n \cdot l)$ записей, среди которых находятся динамически равновесные и неравновесные ситуации.

Следующие *этапы 4 и 5*, выполняемые многократно в цикле, предназначены для формирования множеств $\{\text{Sit}_{\text{neq } i}\}$ динамически неравновесных и $\{\text{Sit}_{\text{eq } i}\}$ – динамически равновесных ситуаций. Фильтрация производится по условию превышения рассогласования $\varepsilon_i(t)$ между темпами совокупных доходов и расходов заданного предела $\varepsilon_i^0(t)$ для каждой i -й ситуации (записи файла экспериментальных данных).

Этап 6 предназначен для построения самоорганизующихся карт для динамически неравновесных ситуаций $\{\text{Sit}_{\text{neq } i}\}$ и динамически равновесных ситуаций $\{\text{Sit}_{\text{eq } i}\}$, а также для проведения их анализа. Данный этап нуждается в детализации, так как именно здесь и происходит формирование правил классификации ситуаций. На *этапе 6.1* производится формирование множеств X_{neq} признаков для динамически неравновесных и X_{eq} для динамически равновесных ситуаций. Для этого производится уточнение множества X признаков путем исключения признаков, не обладающих дискриминантной силой, при этом могут быть использованы методы многомерного статистического анализа [13]. Задается предполагаемое количество будущих кластеров n_{neq} для динамически неравновесных и n_{eq} динамически равновесных ситуаций.

На *этапе 6.2* производится построение СОК для динамически неравновесных ситуаций. Для этого выполняется обучение НС Кохонена и осуществляется визуализация СОК. Отметим, что количество карт равно количеству признаков. Далее производится предварительный анализ построенных кластеров; при этом анализируется цветовая гамма изменения признаков на картах. Анализ выполняется с двумя целями. Во-первых, это выявление признаков, которые должны принимать участие в формировании правил классификации, и, во-вторых, анализ карт выполняется с целью уточнения количества кластеров. По результатам анализа принимается решение о возможном возврате на *этап 6.1*.

На *этапе 6.3* производится формирование правил классификации для построенных кластеров динамически неравновесных ситуаций. *Этапы 6.4, 6.5 и 6.6* повторяют описанную выше последовательность шагов, но при этом формируются классы динамически равновесных ситуаций.

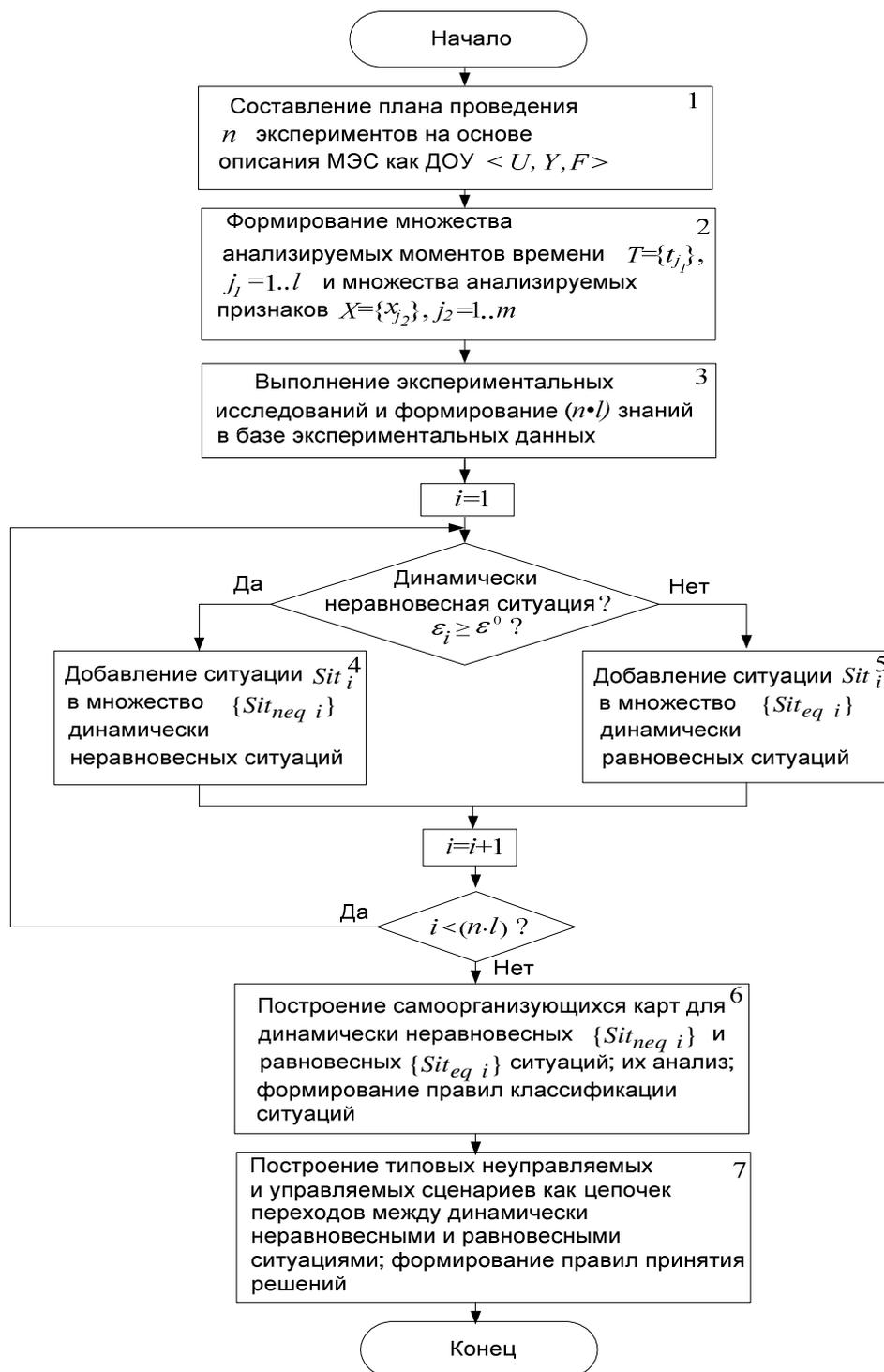


Рис. 3. Процедура нейросетевого анализа макроэкономических ситуаций и формирования правил принятия решений по управлению МЭС

Отметим, что при их формировании должны учитываться типы воспроизводственных пропорций.

На *этапе 7* сначала формируется множество возможных переходов вида $N_{eq\ i} \rightarrow N_{eq\ j}$ от одного динамически равновесного состояния $N_{eq\ i}$ к другому динамически равновесному состоянию $N_{eq\ j}$, где N – номер кластера. При формировании типовых переходов необходимо учитывать типы воспроизводственных пропорций

и возможность перехода от одного типа воспроизводственных пропорций к другому с учетом изменений темпа выпуска ВВП. Например, переход от худшей ситуации с потребительски-ориентированной пропорцией к лучшей того же типа возможен только через кластер с инвестиционно-ориентированным типом пропорции.

При исследовании неравновесных режимов вначале исследуется неуправляемое поведение МЭС в возмущенной среде, и определяются

возможные причины нарушения динамически равновесного состояния $N_{eq\ i}$, которые вызывают определенные типы (классы) динамически неравновесных ситуаций $\{N_{neq\ k}^F\}$. Развитие динамически неравновесных ситуаций во времени при отсутствии управлений неизбежно приводит к новой динамически равновесной ситуации $N_{eq\ j}$, которая является более неблагоприятной, чем $N_{eq\ i}$. В результате формируются множества переходов вида: $N_{eq\ i} \rightarrow \{N_{neq\ k}^F\} \rightarrow N_{eq\ j}$ между динамически равновесными и неравновесными ситуациями, возникшими под воздействием возмущений $F(t)$.

Применение управляющих воздействий $U(t)$ приводит к появлению новых динамически неравновесных режимов $\{N_{neq\ m}^U\}$. В результате формируются цепочки переходов $N_{eq\ j} \rightarrow \{N_{neq\ m}^U\} \rightarrow N_{eq\ l}$, где $N_{eq\ l}$ является более благоприятной макроэкономической ситуацией по сравнению с ситуацией $N_{eq\ j}$, улучшенной в результате управления.

Из перечисленных типовых переходов формируются типовые сценарии неуправляемых и управляемых процессов функционирования МЭС в виде цепочек переходов между динамически равновесными и неравновесными ситуациями. Сценарий представляет собой интегральную траекторию движения системы во времени, которая позволяет ЛПР получить обобщенную оценку тенденций в поведении системы. Это является особенно важным, поскольку анализировать большое количество графиков изменения координат производственного процесса МЭС во времени не представляется возможным. Отметим, что возможны как последовательные, так и параллельные пути перехода из одной динамически равновесной ситуации в другую через несколько динамически неравновесных ситуаций (рис. 4).

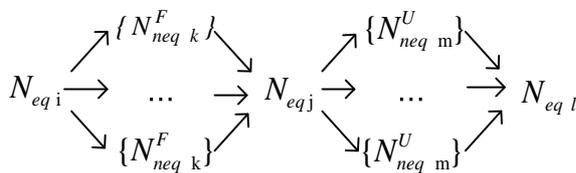


Рис. 4. Вид сценария как цепочки переходов между динамически равновесными и динамически неравновесными ситуациями

Несмотря на то, что в реальности один динамически неравновесный режим сменяет другой, целесообразно исследовать сначала типовые сценарии, когда чередуются динамически равновесные и неравновесные режимы. Другие, более сложные типы сценариев, могут быть ис-

следованы тогда, когда уже известны базовые сценарии.

На основе анализа построенных сценариев формируются правила принятия решений по ликвидации возникших неблагоприятных ситуаций. Для этого предлагается проводить анализ *дополнительной информации* о состоянии процесса, то есть признаков, которые не участвовали в обучении НС. Цель такого анализа заключается в поиске *причин* возникновения неблагоприятных ситуаций по каждому кластеру. Для этого используется, как правило, статистика по кластеру. В качестве дополнительной информации для процесса формирования расходов секторами МЭС рассматривается статистическая информация по элементам векторов как возмущающих воздействий $F_i(t)$ для каждого i -го сектора, так и управляющих воздействий нижнего уровня управления. Выявление причин отклонения текущей ситуации от желаемой позволяет сформировать множество решений, которые направлены на ликвидацию причин и представлены с помощью продукционных правил в виде указаний качественных изменений управляющих координат.

4. СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ МЭС

Разработано программное обеспечение СИМ ИПУ, в структуре которого выделены три компонента: имитационного моделирования, информационно-аналитический и интеллектуального управления (рис. 5).

Компонент 1 (система имитационного моделирования) реализован в среде *Matlab* и включает следующие модули.

Во-первых, это программный модуль статического расчета, который обеспечивает вычисление параметров общего экономического равновесия макроэкономической системы, которое достигается при равновесии на отдельных рынках: рынке благ, рынке труда, денежном рынке. Статический расчет ведется: по модели *IS-LM* совместного равновесия на рынках благ и денег при постоянных ценах и предназначен для выполнения многократных расчетов различных сочетаний параметров МЭС, обеспечивающих общее экономическое равновесие [12]. При реализации программного модуля используется база моделей статического расчета, построен-

ных с помощью приложения *Simulink* системы *Matlab*.

Во-вторых, это модуль расчета сбалансированных темпов потоков, который предназначен для вычисления плановых темпов расхода ресурсов, сбалансированных по доходам и расходам как для каждого сектора МЭС в отдельности, так и для всей системы в целом секторами МЭС, а также для их корректировки в требуемые дискретные моменты времени в автоматизированном режиме. Предложенный алгоритм позволяет по желанию пользователя рассчитывать различные варианты задания равновесного режима функционирования макроэкономической системы для различных воспроизводственных пропорций при проведении экспериментальных исследований.

В-третьих, это база динамических моделей функционирования МЭС, которые разработаны в среде визуально-ориентированного блочного программирования *Simulink* приложения *Matlab*.

В-четвертых, это программный модуль загрузки, состоящий из процедуры загрузки динамической модели и процедуры загрузки параметров модели и их корректировки.

В-пятых, это программный модуль запуска и проведения имитационного моделирования, позволяющий запустить процесс имитационного моделирования в трех режимах: режиме традиционного моделирования с возможностью оста-

нова и корректировки параметров в автоматическом и автоматизированном режимах; режиме автоматической выдачи сообщений об обнаружении неблагоприятных ситуаций; режим автоматической выдачи сообщений об обнаружении как неблагоприятных, так и благоприятных ситуаций.

Компонент 2 (система информационно-аналитической поддержки) включает в себя следующие программные модули: модуль визуального мониторинга результатов моделирования, модуль подготовки экспериментальных данных, модуль информационного мониторинга, которые реализованы на языке *Matlab* в виде *m-файлов*.

Программный модуль визуального мониторинга результатов моделирования реализует функции визуализации данных о состоянии МЭС в интегрированном виде с помощью специальных элементов-индикаторов динамики изменения финансовых потоков (притоков и оттоков) и запасов по секторам МЭС. Реализована возможность контроля за изменением текущих значений большого числа переменных модели как в числовом, так и в графическом виде. Алгоритм задания точек останова позволяет обеспечить автоматическую остановку моделирования в заранее заданные моменты времени.

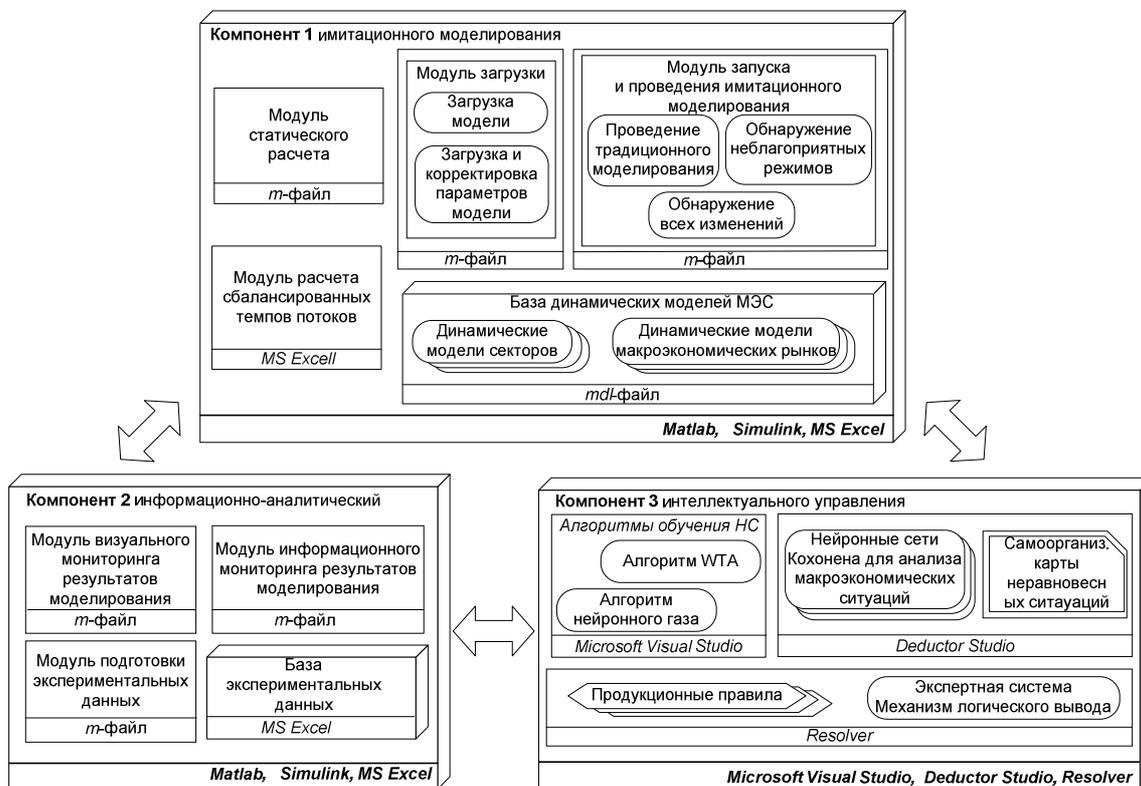


Рис. 5. Структура программного обеспечения системы имитационного моделирования и интеллектуальной поддержки управления воспроизводственным процессом МЭС

Программный модуль информационного мониторинга позволяет:

- выполнить пересчет переменной состояния МЭС (например, темпа выпуска ВВП) по заданному интервалу времени; построить столбчатую диаграмму изменения этой переменной с учетом заданного интервала времени (месяц, квартал, год), а также вывести данные по диаграмме в табличном виде. Алгоритм является универсальным и может быть применен для анализа любых макроэкономических показателей;

- выполнить автоматическое построение и сохранение графиков изменения значений переменных модели после окончания эксперимента;

- выполнить построение сохраненных графиков переменных модели разных экспериментов в требуемых сочетаниях в одном координатном поле.

Программный модуль подготовки экспериментальных данных позволяет автоматически запускать модель заданное количество раз с варьируемыми значениями параметров и формировать файл экспериментальных данных по требованиям пользователя в соответствии с планом эксперимента.

Компонент 3 (система интеллектуальной поддержки принятия решений) предназначен: для выполнения нейросетевого анализа экспериментальных данных в динамике при предоставлении возможности обучения нейронных сетей Кохонена различными методами (методами WTA и нейронного газа); для построения самоорганизующихся карт; для формирования правил принятия решений на основе технологии экспертных систем и построения сценариев управления поведением МЭС. Разработанные нейросетевые модели кластеризации неравновесных макроэкономических ситуаций в динамике и построенные самоорганизующиеся карты Кохонена реализованы в *Deductor Studio*, а сформированные производственные правила принятия решений реализованы в среде *Resolver*, подключение к которым осуществляется в едином интерфейсе, написанном на языке *Matlab* и формирующем среду моделирования СИМ ИПУ воспроизводственного процесса МЭС.

5. ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ СЦЕНАРИЕВ УПРАВЛЕНИЯ ВОСПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРОЦЕССОМ МЭС

Проведены экспериментальные исследования функционирования МЭС в условиях действительных возмущений, и сформирован файл экспериментальных данных по результатам имитационного моделирования. Рассмотрим процесс построения самоорганизующихся карт для динамически неравновесных и равновесных ситуаций и сценариев неуправляемого и управляемого поведения МЭС.

Для анализа классов *динамически неравновесных ситуаций* воспроизводственного процесса МЭС сформирован вектор $X_{\text{неq}}$ входных признаков для НС Кохонена, включающий в себя темпы формирования сальдо потоков секторов $\{\dot{Fl}_i\}$, $i = \overline{1,4}$, объемы запасов ресурсов секторов $\{St_i\}$, $i = \overline{1,4}$, а также темпы формирования оплаты труда \dot{Rl} , потребления \dot{C} , сбережения \dot{S} , налогов на производство и импорт \dot{Tr} , госзакупок \dot{G} .

На основе обученной НС Кохонена построены 9 кластеров ($n_{\text{неq}} = 9$) динамически неравновесных ситуаций. *Кластер 1_{неq}* является плановым и включает в себя ситуации с незначительными отклонениями по сальдо потоков \dot{Fl}_i . Эти ситуации близки к области планового равновесного состояния. Решения не требуются.

Кластеры 7_{неq} и 4_{неq} соответствуют неравновесным состояниям МЭС, соответствующим нарушению баланса темпов притоков и оттоков для основного контура «производство-потребление» ($\dot{Rl} - \dot{C}$). *Кластер 7_{неq}* включает ситуации, характеризующиеся снижением фактического темпа $\dot{C}(t)$ потребления, накоплением запасов у населения «в чулке», снижением доходов предприятий реального сектора. Остальные два контура, формирующие утечки в виде сбережений для сектора 3 финансовых учреждений и налогов для сектора 4 государственных учреждений, функционируют по-прежнему. Анализ всех карт признаков и статистики по кластерам позволил найти причину нарушения баланса, которая заключается в изменении потребительских ожиданий, что отражается в модели снижением автономного потребления $\dot{C}_a^0(t)$. Если своевременно принять решение, то потери в темпе выпуска ВВП будут не такие значительные. Рекомендуемое множество производственных правил – $U_C^{IF}(\dot{Rl} - \dot{C})$, направлен-

ных на стимулирование потребления $\dot{C}(t)$. Отметим, что в обозначении множества решений предполагается, что в скобках указан контур, на который оказывается воздействие; нижний индекс указывает изменяемый фактор; верхний индекс соответствует значению изменяемого фактора (M – поддержание планового режима, IF – небольшое увеличение, I – увеличение, IM – значительное увеличение, DF – небольшое уменьшение, D – уменьшение, DM – значительное уменьшение).

Кластер 4_{неq} соответствует ситуациям, связанным с ажиотажным спросом, который приводит к росту доходов и запасов предприятий реального сектора и снижению запасов домохозяйств. Другие два контура модели пока сильно не реагируют. Рекомендуемое множество правил принятия решений – $U_{\dot{Y}}^{IF}(\dot{R}l - \dot{C})$, направленных на стимулирование производства $\dot{Y}(t)$ (выпуска ВВП).

Кластеры 3_{неq} и $b_{неq}$ соответствуют неравновесным ситуациям, связанным с изменениями оплаты труда. Внесение рассогласования потоков в виде роста заработной платы в основной контур «производство-потребление» (*кластер 3_{неq}*) приводит к временному эффекту увеличения доходов домохозяйств при неизменном потреблении, что способствует снижению доходов предприятий. Если своевременно не принять меры по стимулированию расходов населения либо на потребление, либо на сбережение, эффект богатства населения нивелируется, и тогда будет иметь место парадокс бережливости. Рекомендуемое множество правил принятия решений – $U_C^{IM}(\dot{R}l - \dot{C})$, направленных на стимулирование потребления.

Кластер $b_{неq}$ включает динамически неравновесные ситуации, соответствующие снижению темпа формирования $\dot{R}l(t)$ оплаты труда. Это может быть вызвано либо задержками в оплате труда, либо ранее принятыми решениями по оплате труда, уже не соответствующим возросшим темпам производства ВВП (доля оплаты труда мала). Такая ситуация приводит к кратковременному превышению доходов реального сектора над его расходами, то есть росту его запасов. Однако при этом начинает страдать население, снижаются его запасы. Пока в такой ситуации отреагировал только основной контур «производство-потребление», даже потребление еще не снизилось. Но наличие такого типа динамически неравновесной ситуации уже свидетельствует о необходимости своевременного

принятия решений, пока не затронуто поведение других секторов МЭС. Рекомендуемое множество решений – $U_{\dot{R}l}^{IF}(\dot{R}l - \dot{C})$, направленных на повышение доходов населения с целью увеличения потребления.

Кластеры 5_{неq} и $2_{неq}$ свидетельствуют о нарушениях функционирования контура «инвестиции – сбережения» $\dot{S} - \dot{I}$. Неравновесные ситуации *кластера 5_{неq}* с возникшим снижением сбережений сигнализируют о необходимости принятия решений до возникновения кризисной ситуации при возможном распространении влияния возмущения на основной контур «производство-потребление», что может вызвать снижение темпов выпуска ВВП и последующую рецессию макроэкономической системы в целом. Рекомендуемые решения – $U_i^{IF}(\dot{S} - \dot{I})$, направленные на принятие мер по улучшению инвестиционного климата и стимулированию сбережений.

Кластер 2_{неq} соответствует динамически неравновесным ситуациям, вызванным ростом сбережения. Ситуации вносят разбалансировку в контур «инвестиции-сбережения» и требуют своевременной реакции в виде множества решений $U_i^{IM}(\dot{S} - \dot{I})$, направленных на стимулирование инвестиционных расходов всеми секторами.

Кластеры 8_{неq} и $0_{неq}$ включают неравновесные ситуации, связанные с внесением возмущений в контур «налоги-госзакупки» $\dot{T} - \dot{G}$. Повышение налогового бремени в ситуациях *кластера 8_{неq}* приводит к росту запасов государственного бюджета. Разбалансирование этого контура в перспективе может привести к снижению темпов выпуска ВВП, последующему снижению потребления, далее – вторичному снижению ВВП и т. д. Своевременная управленческая реакция должна состоять в принятии множества решений $U_{\dot{T}}^{DF}(\dot{T} - \dot{G})$, $U_{\dot{G}}^{IF}(\dot{T} - \dot{G})$, направленных на повышение доли госзакупок в темпе выпуска ВВП, а также увеличении трансфертов.

Кластер 0_{неq} состоит из динамически неравновесных ситуаций, возникновение которых обусловлено недостаточными налоговыми поступлениями, например, по причине неплатежей или задержек в перечислениях. Нарушение баланса контура «налоги-госзакупки» $\dot{T} - \dot{G}$ проявляется в виде снижения запасов сектора государственных учреждений. Это может привести к распространению возмущения на другие контуры, и, следовательно, к снижению конечного

спроса и последующему падению ВВП. Такие ситуации также требуют вмешательства в виде принятия решений $U_G^F(\dot{T} - \dot{G})$ и $U_i^F(\dot{S} - \dot{I})$, направленных на ужесточение мер по сбору налогов и поддержание темпов формирования госзакупок на прежнем уровне, а также на стимулирование инвестиционных вложений с целью оздоровления экономики, а значит, ликвидации причин задержек платежей.

Для анализа классов динамически равновесных ситуаций воспроизводственного процесса МЭС разработана НС Кохонена, вектор входных признаков X_{eq} которой включает: темпы выпуска ВВП \dot{Y} , формирования потребления \dot{C} , инвестиций \dot{I} , государственных закупок \dot{G} , оплаты труда $\dot{R}l$, сбережения \dot{S} , налогов на производство и импорт $\dot{T}p$. Определено количество кластеров $n_{eq} = 7$ динамически равновесных ситуаций на основе предположения о том, что исследуются два типа воспроизводственных пропорций на разных уровнях темпа выпуска ВВП. Ниже представлена краткая характеристика кластеров.

Кластер $2_{eq}^{\dot{C}0}$ включает ситуации, характеризующиеся потребительно-ориентированной воспроизводственной пропорцией. В нем находятся ситуации, соответствующие темпам выпуска ВВП, близким к плановому. *Кластер* $0_{eq}^{\dot{G}0}$ относится к этому же типу кластеров, но с немного большим участием государства (госзакупок \dot{G}) в формировании конечного. *Кластер* $6_{eq}^{\dot{C}*}$ относится к ситуациям с потребительно-ориентированным типом воспроизводственных пропорций, но только с более низким уровнем темпа выпуска ВВП \dot{Y} для всей МЭС в целом. Символ «*» свидетельствует об умеренном ухудшении ситуации. *Кластер* 1_{eq}^{i0} относится к кластерам ситуаций с инвестиционно-ориентированным типом воспроизводственных пропорций при условии, что темп выпуска ВВП близок к плановому. *Кластер* 4_{eq}^{i*} также включает ситуации с инвестиционно-ориентированным типом воспроизводственных пропорций, но в умеренно неблагоприятных условиях снижения темпа выпуска ВВП. *Кластер* 5_{eq}^{**} включает ситуации со значительным снижением темпа выпуска ВВП \dot{Y} , которые являются очень неблагоприятными. Тип воспроизводственной пропорции в этом случае не ва-

жен. *Кластер* $3_{eq}^{\dot{C}0}$ объединяет более благоприятные, чем плановые, ситуации с потребительно-ориентированным типом воспроизводственной пропорции. Примеры возможных траекторий движения МЭС в виде цепочки кластеров равновесных ситуаций $N_{eq\ i} \rightarrow N_{eq\ j}$ представлены на рис. 6, где переходы от благоприятных ситуаций к неблагоприятным под влиянием возмущений изображены сплошной линией; а переходы от менее благоприятных ситуаций к более благоприятным в результате применения управляющих воздействий представлены штриховой линией. При составлении этих траекторий соблюдается правило: переход от неблагоприятной ситуации с потребительно-ориентированной пропорцией к благоприятной того же типа возможен только через кластер 1_{eq}^{i0} с инвестиционно-ориентированным типом пропорции. По этой причине переход к ситуациям кластера $3_{eq}^{\dot{C}0}$ возможен только через кластер 1_{eq}^{i0} . На основе построенных траекторий движения МЭС на множестве равновесных ситуаций строятся траектории неуправляемого и управляемого движения МЭС на множестве неравновесных ситуаций в виде цепочек переходов между динамически равновесными и динамически неравновесными ситуациями.

Пример траектории неуправляемого поведения МЭС под воздействием возмущений $F(t)$ с переходами типа $N_{eq\ i} \rightarrow \{N_{neq\ k}^F\} \rightarrow N_{eq\ j}$ от кластера плановых ситуаций $2_{eq}^{\dot{C}0}$ к кластеру очень неблагоприятных ситуаций 5_{eq}^{**} представлен на рис. 7. Пример траектории управляемого поведения МЭС в виде цепочки переходов типа $N_{eq\ j} \rightarrow \{N_{neq\ m}^U\} \rightarrow N_{eq\ l}$ от кластера очень неблагоприятных ситуаций 5_{eq}^{**} к плановым ситуациям кластера $2_{eq}^{\dot{C}0}$ представлен на рис. 8.

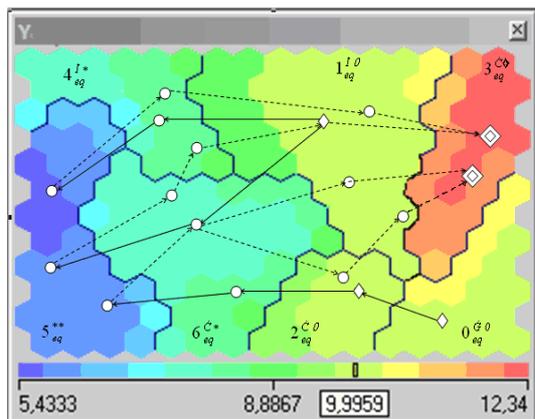
Приведены примеры правил принятия решений для кластера 8_{neq} в области налогово-бюджетной политики с учетом запасов секторов домохозяйств St_2 и государственных учреждений St_4 :

ЕСЛИ кластер= 8_{neq} И $St_4 = M$ И $St_2 = D$,

ТО Решение = $Dec_f^I(\dot{G})$;

ЕСЛИ кластер= 8_{neq} И $St_4 = M$ И $St_2 = D$,

ТО Решение = $Dec_f^I(\dot{T}r)$.



«-----» – управляемые сценарии;
 «————» – неуправляемые сценарии

Рис. 6. Примеры траекторий движения МЭС на самоорганизующихся картах

Обозначение рекомендуемых решений Dec_*^* (*) предполагает, что в скобках указано управляющее воздействие (в примере \dot{G} и \dot{Tr} – темпы формирования госзакупок и трансфертов соответственно); нижний индекс указывает характер проводимой политики (m – монетарная, то есть денежно-кредитная или f – фискальная, то есть налогово-бюджетная); верхний – соответствует значению управляющего фактора (M – поддержание планового режима, I – небольшое увеличение, D – уменьшение).

Все этапы предложенной процедуры классификации макроэкономической ситуации и формирования правил принятия решений выполняются с использованием разработанного ПО СИМ ИПУ воспроизводственным процессом МЭС [10, 11].

ВЫВОДЫ

1. Предложена двухуровневая структура интеллектуальной системы управления воспроизводственным процессом макроэкономической системы. Нижний уровень соответствует управлению отдельно взятыми секторами МЭС и включает четыре контура управления: реальным сектором; сектором домохозяйств и секторами финансовых и государственных учреждений. Верхний уровень управления построен на основе принципа ситуационного управления с использованием интеллектуальных технологий для решения задач многопараметрического анализа неравновесных макроэкономических ситуаций и формирования правил принятия решений.

2. Разработана процедура классификации макроэкономических ситуаций и формирования правил принятия решений при управлении воспроизводственным процессом МЭС, построены самоорганизующиеся карты Кохонена для динамически равновесных и неравновесных ситуаций; проведен многопараметрический анализ построенных кластеров макроэкономических ситуаций; определены типовые переходы на множестве динамически равновесных и неравновесных ситуаций с учетом воспроизводственных пропорций; сформированы сценарии неуправляемого и управляемого поведения МЭС в виде цепочек переходов между динамически равновесными ситуациями через одну или несколько динамически неравновесных ситуаций с указанием возмущающих и управляющих воздействий.

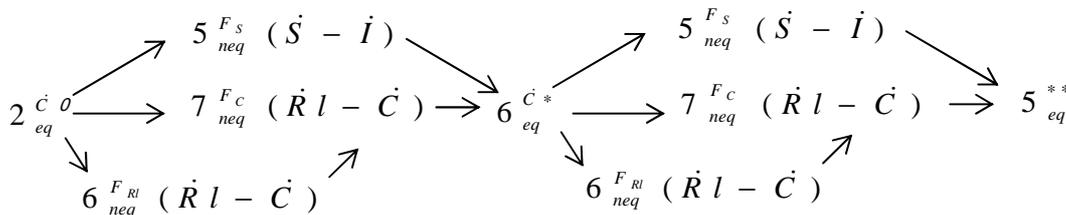


Рис.7. Пример траектории неуправляемого движения МЭС в виде цепочки кластеров

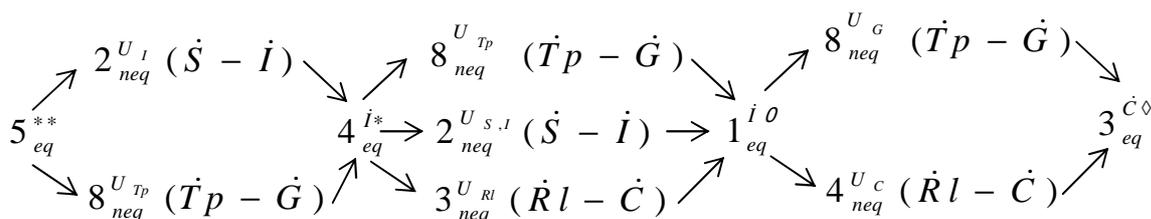


Рис. 8. Пример траектории управляемого движения МЭС в виде цепочки кластеров

3. Разработанная система имитационного моделирования и интеллектуальной поддержки управления воспроизводственным процессом МЭС позволяет выполнять процедуры имитационного моделирования и поддержки принятия решений при проигрывании различных сценариев управления МЭС, обеспечивая, во-первых, работу в едином информационном пространстве; во-вторых, работу с данными о динамике поведения МЭС, полученными на основе имитационного моделирования; и, в-третьих, взаимодействие во времени нейронных сетей и динамических моделей воспроизводственного процесса МЭС на основе технологии имитационного моделирования. Разработанное программное обеспечение СИМ ИПУ воспроизводственным процессом МЭС может быть использовано в качестве обучающей системы для подготовки специалистов в области макроэкономического анализа; а также в качестве исследовательской системы, позволяющей решать задачи анализа и синтеза вариантов поведения макроэкономических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогноз и моделирование кризисов и мировой динамики / Отв. ред. А.А. Акаев, А.В. Коротаев, Г. Г. Малинецкий. М.: Изд-во ЛКИ, 2010. 352 с.
2. **Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сулакшин С. С.** Применение вычислимых моделей в государственном управлении. М.: Научный эксперт, 2007. 304 с.
3. **Тарасевич Л. С., Гребенников П. И., Леуский А. И.** Макроэкономика: учебник. М.: Высшее образование, Юрайт – Издат., 2009. 654 с.
4. **Попков Ю. С.** Макросистемные модели пространственной экономики. М.: Комкнига, 2008. 240 с.
5. **Поспелов И. Г.** Модели экономической динамики, основанные на равновесии прогнозов экономических агентов. М.: Изд-во ВЦ РАН, 2003. 200 с.
6. **Dos Santos C. H., Zezza G.** A Post-Keynesian Stock-flow Consistent Macroeconomic Growth Model Preliminary Results [WWW document] / The Levy Economics Institute. <http://ideas.repec.org/p/lev/wrap/402.html> (01.11.2011).
7. **Shone R.** Economic Dynamics: Phase Diagrams and Their Economic Application [WWW document] / Cambridge University Press. <http://www.cambridge.org> (01.11.2011).
8. **Клоцвог Ф. Н., Костин В. А.** Макроструктурные модели – инструмент народнохозяйственного прогнозирования // Проблемы прогнозирования. 2004. № 6. С. 17–27.
9. Моделирование динамики кругооборота финансовых потоков с учетом накопления финансовых ресурсов / Б. Г. Ильясов [и др.] // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. № 7 (61). С. 28–38.
10. **Ильясов Б. Г., Дегтярева И. В., Макарова Е. А.** Интеллектуальное управление макроэкономическими системами с использованием имитационных моделей // Интеллектуальные системы управления / Под ред. С. Н. Васильева. М.: Машиностроение, 2010. С. 397–410.
11. **Ильясов Б. Г., Макарова Е. А., Валитов Р. Р.** Автоматизированная система нейросетевого анализа данных для управления поведением сложных объектов. Свидетельство №2009614362 об официальной регистрации программы для ЭВМ Зарегистрировано РосАПО в Реестре программ для ЭВМ 19.08.2009.
12. Курс экономической теории: учебник / под общ. ред. д. э. н., проф. А. В. Сидоровича; МГУ им. М. В. Ломоносова. М.: Дело и сервис, 2008. 1040 с.
13. Анализ данных и процессов: учеб. пособие / А. А. Барсегян [и др.]. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. 512 с.
14. **Кохонен Т.** Самоорганизующиеся карты. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 655 с.

ОБ АВТОРАХ

Ильясов Барый Галеевич, чл.-корр. АН РБ, проф., зав. каф. техн. кибернетики. Дипл. инженер-электромех. по авиац. электрооборуд. ЛА (МАИ, 1962). Д-р техн. наук по сист. анализу и авт. упр. (ЦИАМ, 1984). Иссл. в обл. сист. анализа, упр-я в техн. и соц-экон.системах.

Дегтярева Ирина Викторовна, проф., зав. каф. эконом. теории. Дипл. инженер-эконом. по экономике и орг-ции машиностр. промышленности (УАИ, 1981). Д-р экон. наук по эконом. теории (СПб, 2000). Иссл. в обл. эконом. теории и методологии экономической науки.

Макарова Елена Анатольевна, доц. каф. техн. кибернетики. Дипл. инженер-системотехник по авт. системам управ. (УАИ, 1982). Канд. техн. наук по автоматиз. сист. упр-я (УГАТУ, 1996). Иссл. в обл. системн. анализа, моделир. и управления неравновесн. процессами функ. и развития макроэкономических систем.

Валитов Руслан Рустемович, асп. той же каф. Дипл. инженер-системотехник по АСОИУ (УГАТУ, 2009). Иссл. в обл. моделир. и управления неравновесн. процессами функционирования макроэкономических систем.