

DOI: 10.18469/ikt.2015.13.2.08.

Bakhareva Nadezhda Fiodorovna, Doctor of Technical Science, Professor, the Head of Department of Informatics and ADP Equipment, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.: +78463391131. E-mail: bahareva-nf@psuti.ru.

Mitekin Yury Aleksandrovich, Assistant of the Department of Software and Technical Systems Control, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel: +7 846 228 00 13, +79047467520. E-mail: y.mitekin@psuti.ru.

References

1. *Pervye shagi. Ofitsialnyj veb sajt VirtualBox* [First steps. Official web site VirtualBox] Available at: <http://www.virtualbox.org/manual/ch01.html> (accessed 28.10.14)
2. *Chto takoe iperf? Ofitsialnyj sajt iperf* [What is iperf? Official site iperf] Available at: <http://iperf.fr/> (accessed 12.11.14)
3. *Iperf-test propusknoj sposobnosti internet kanala* [Iperf - the test of throughput of an Internet channel] Available at: <http://alexof.ru/page/iperf> (accessed 14.11.14)
4. *GNS3 graficheskij setevoy simuljator. Laboratorija setej CISCO* [GNS3 graphic network simulator. Laboratory of the CISCO networks] Available at: <http://www.ciscolab.ru/labs/40-gns3-graficheskij-setevoy-simulyator.html> (accessed 25.11.14)

Received 20.02.2015

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 681.5

ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ АГЕНТОВ И ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В РАМКАХ ВОСПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА С УЧЕТОМ ЗАПАСОВ КАПИТАЛА

Макарова Е.А.

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, РФ

E-mail: ea-makarova@mail.ru

Предложены динамические модели управляемого поведения экономических агентов и взаимодействия их в рамках макроэкономического кругооборота финансовых потоков. Проведены имитационные эксперименты для исследования эффекта самовыравнивания финансовых потоков и выявления закономерностей поведения агентов с учетом взаимовлияния потоков расходов и доходов и запасов капитала.

Ключевые слова: социально-экономическая система, экономический агент, динамическая модель, поток, запас, нелинейный алгоритм.

Введение

Сложность экономического положения российского государства в современных условиях требует повышенного внимания к разработке концепций, прогнозов и программ краткосрочного и долгосрочного социально-экономического развития на различных уровнях: федеральном, региональном, на уровне кластеров или отдельных экономических субъектов.

Одним из признанных подходов к решению этих проблем является подход, основанный на имитационном моделировании различных сценариев управления функционированием и развити-

ем социально-экономических систем на рассматриваемых уровнях [1-5].

Основным компонентом систем имитационного моделирования является динамическая модель поведения объекта исследования. Решению проблем построения динамических моделей функционирования экономических агентов разной степени сложности и моделей взаимодействия экономических агентов (ЭА) друг с другом в рамках кругооборота финансовых потоков на макроуровне посвящена статья.

На основе разработанной динамической модели проводится анализ различных сценариев

управления функционированием ЭА путем проведения имитационных экспериментов.

Согласно методу Димова-Маслова анализ результатов имитационного моделирования сценариев управления сложной социально-экономической системой (СЭС) на основе статистических данных о состоянии российской экономики позволит высказать суждения о качественной адекватности разработанной динамической модели [6].

Системные принципы моделирования управляемого поведения экономического агента

Сформулированы системные принципы моделирования управляемого поведения ЭА, среди которых необходимо выделить следующие:

- каждый ЭА имеет запас финансовых и материальных ресурсов, который образует его капитал и необходим для выполнения различных видов деятельности агента. Объем запаса ресурсов изменяется во времени в зависимости от сальдо входных и выходных финансовых потоков;

- каждый ЭА получает доходы (входные финансовые потоки), которые либо обусловлены результатами его деятельности при участии других агентов, либо генерируются по результатам деятельности других агентов и передаются исследуемому агенту;

- каждый ЭА выполняет один или более видов деятельности. Для мезоуровня СЭС, на котором выделены кластеры предприятий и производственных комплексов, как правило, рассматриваются три вида деятельности: производственная, финансовая и инвестиционная [7]. Для макроуровня СЭС в качестве агентов рассматриваются сектора экономики, деятельность которых представлена производством валового внутреннего продукта, формированием сбережений, инвестиций и трансфертов [8].

Каждый вид деятельности ЭА связан с выполнением некоторых функциональных процессов, требующих формирования расходов. Реализация каждого вида деятельности является управляемым процессом и включает все составляющие процесса управления: планирование, контроль, анализ и принятие решений. Процесс планирования деятельности ЭА является адаптивным и предполагает корректировку плановых темпов расхода ресурсов в зависимости от состояния других агентов СЭС и всей СЭС в целом.

Цель управления каждым видом деятельности ЭА состоит в обеспечении планового темпа расхода ресурсов. План проходит три стадии формирования. Первая стадия связана с учетом автономных,

не зависящих от информации о поведении других секторов, планов-желаний по расходам ресурсов (например, автономное потребление населения). Вторая – учитывает эту информацию (например, в виде зависимости потребления от располагаемых доходов или стимулированных инвестиций). Полученные на этом этапе планы должны быть сбалансированы по потокам для обеспечения равновесного режима. Третий этап – корректировка планов на основе информации о запасах с помощью алгоритма самовыравнивания финансовых потоков

Упрощенная динамическая модель поведения экономического агента, управляемого на основе информации о запасах ресурсов

На основе сформулированных системных принципов разработана функциональная схема упрощенной модели управляемого поведения i -го ЭА СЭС, выполняющего один функциональный процесс и имеющего один канал получения дохода (см. рис. 1). Разработка упрощенной модели обусловлена необходимостью исследования основных закономерностей поведения ЭА в различных ситуациях.

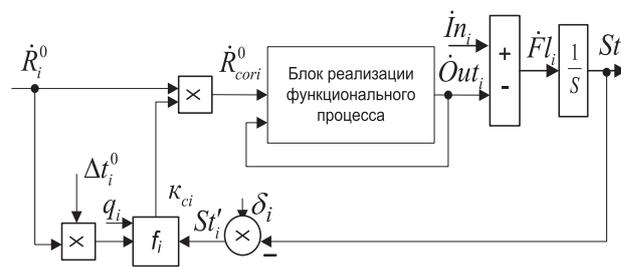


Рис. 1. Функциональная схема модели управляемого поведения экономического агента (с позиций экономической теории)

Схема представлена в виде параллельного соединения каналов формирования притока (дохода) с темпом $\dot{In}_i(t)$ и оттока (расхода) с темпом $\dot{Out}_i(t)$, а также последовательно соединенных сумматора для вычисления сальдо потоков $\dot{Fl}_i(t)$ и интегратора для расчета текущего объема $St_i(t)$ накопленных запасов финансовых ресурсов. Блок реализации функционального процесса представлен непрерывной динамической моделью, построенной в классе управляемых систем на основе принципа комбинированного управления [9].

В модели присутствует канал корректировки расхода ресурсов, который содержит логический блок f_i , реализующий алгоритм корректировки планового темпа расхода $\dot{R}_i^0(t)$ на основе инфор-

мации о текущем располагаемом объеме запасов $St'_i(t)$, где $St'_i(t) = St_i(t) - \delta_i(t)$, $\delta_i(t)$ – неприкосновенный запас. Логика работы алгоритма, вычисляющего корректирующий коэффициент k_{ci} , представлена в виде нелинейной зависимости:

$$k_{ci} = \begin{cases} 1, & \text{если } \dot{R}_i^0 \cdot \Delta t_i^0 \leq St'_i \leq \dot{R}_i^0 \Delta t_i^0 q_i; \\ \frac{St'_i}{\dot{R}_i^0 \Delta t_i^0}, & \text{если } St'_i < \dot{R}_i^0 \Delta t_i^0; \\ \frac{St'_i}{\dot{R}_i^0 \Delta t_i^0 q_i}, & \text{если } St'_i > \dot{R}_i^0 \Delta t_i^0 q_i, \end{cases} \quad (1)$$

где Δt_i^0 – интервал времени, в течение которого выполнение функционального процесса должно быть обеспечено запасами ресурсов, q_i – коэффициент, определяющий, во сколько раз текущий объем запасов должен превышать требуемый для того, чтобы принять решение об увеличении темпов расхода ресурсов (см. рис. 2).

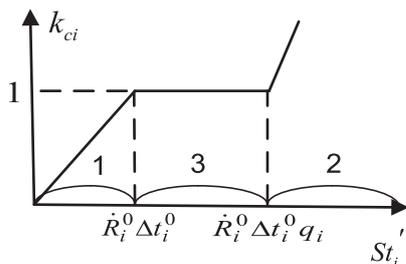


Рис. 2. График нелинейной зависимости $k_{ci} = f_i(St'_i)$

Для представленной нелинейной зависимости выделены три интервала изменения текущего располагаемого объема запасов $St'_i(t)$, определяющие три группы ситуаций по корректировке плановых темпов расхода ресурсов. В случае недостаточности запасов (ситуации группы 1 для зоны 1, где $k_{ci} < 1$) выполняется снижение темпов с таким коэффициентом, умножение на который дает возможный темп, который обеспечивается текущими запасами на планируемый интервал времени. Для благоприятных ситуаций роста запасов (ситуации группы 2 для зоны 2, $k_{ci} > 1$) при превышении запасами некоторой пороговой величины, которая в $q \geq 1$ раз больше требуемого объема, выполняется пересчет планов в сторону увеличения. В ситуациях группы 3, соответствующим зоне 3 ($k_{ci} = 1$), МЭА поддерживает плановый темп расхода ресурсов $\dot{R}_i^0(t)$, несмотря на колебания объема запасов в допустимых преде-

лах (1). Это зона нечувствительности поведения агента к изменению объема текущих запасов.

Анализ эффекта самовыравнивания потоков и выявление типов управляемого поведения экономического агента

Размер зоны нечувствительности (резистентности агента к внешним возмущениям) определяется как горизонтом планирования запасов Δt_i^0 , так и параметром q . Поскольку от значений этих параметров зависит характер поведения ЭА на динамически неравновесных режимах, отнесем их к управляющим и назовем параметрами управления «демпфирующими» запасами. Значения этих параметров определяют не только объем запасов, при котором начинаются какие-либо изменения темпов расхода, но и, как следствие, время начала этих изменений. Например, при малых значениях управляющих параметров, то есть при малых объемах «демпфирующих» запасов, в ситуациях снижения запасов экономический агент очень поздно реагирует на снижение запасов, а в ситуациях роста запасов (положительного сальдо) – очень рано.

С целью анализа динамики управляемого поведения ЭА проведены имитационные эксперименты для различных форм изменения во времени темпа дохода $\dot{In}_i(t)$. Показано, что предложенный алгоритм корректировки плановых темпов расхода ресурсов обеспечивает приближение темпа расхода ресурсов $\dot{Out}_i(t)$ к форме изменения темпа поступления дохода $\dot{In}_i(t)$: $\dot{Out}_i(t) \rightarrow \dot{In}_i(t)$. Наличие контура управления по обратной связи на основе информации о запасах объясняет этот эффект.

В ситуациях, когда $k_{ci} = 1$, цель управления запишется: $\dot{Out}_i(t) \rightarrow \dot{R}_i^0(t)$, в остальных ситуациях $\dot{Out}_i(t) \rightarrow \dot{In}_i(t)$. Происходит как бы переключение цели управления и соответственно режимов управляемого функционирования ЭА: для зоны нечувствительности – это отработка первоначального плана, что соответствует функционированию в режиме стабилизации; для наклонных участков нелинейной характеристики – это приближение темпов расхода к текущим темпам получения дохода, что соответствует функционированию в режиме управления. Иными словами, на динамически неравновесных режимах обеспечивается самовыравнивание темпов потоков расходов и доходов ЭА.

Для исследования влияния эффекта самовыравнивания и выявления типов управляемого поведения ЭА на неравновесных режимах целесообразно рассчитать коэффициент передачи k_p и постоянную времени τ для контура управления по запасам. Получено, что для ситуаций группы 1 $k_p = \Delta t_i^0$; $\tau = \Delta t_i^0$; а для группы 3 – $k_p = \Delta t_i^0 q_i$; $\tau = \Delta t_i^0 q$. Таким образом, характер поведения ЭА определяется управляющими параметрами Δt_i^0 и q . Введем коэффициент $\rho = 1/k_p = 1/\tau$ и назовем его коэффициентом самовыравнивания, так как его увеличение способствует более быстрому достижению нового равновесного состояния, и наоборот.

Логика рассуждений при выявлении типов управляемого поведения ЭА состоит в следующем. Поведение агента является тем более реактивным, то есть тем быстрее наступит равновесие темпов потоков и тем меньше новое равновесное состояние будет отличаться от прежнего, чем больше коэффициент самовыравнивания ρ . Однако при этом согласно логике планирования запасов объем оставшихся запасов будет меньше за счет меньшего коэффициента передачи, то есть меньших значений управляющих параметров Δt_i^0 и q . Иными словами, более высокая реактивность поведения присуща агенту в случае, если «демпфирующих» запасов у него меньше, и наоборот. При этом большая реактивность ЭА

позволяет ему реагировать изменением расходов позже – при снижении запасов и раньше, если запасы растут. Если же «демпфирующих» запасов у агента запланировано больше (большие значения управляющих параметров Δt_i^0 и q), то и реагировать он будет: раньше, но с большей инерционностью – при недостатке запасов; и позже и также более медленно – при их избытке, требующем роста темпов.

Отметим, что, изменяя сочетания значений управляющих параметров Δt_i^0 и q , возможно описать различные по динамическим характеристикам реакции ЭА на изменение запасов. Например, если ЭА планирует незначительные тактические запасы (малые значения Δt_i^0) и большие стратегические запасы (большие значения q), то агент является запаздывающим (отстающим): во-первых, реагирует на тенденцию снижения запасов очень поздно, хотя и очень быстро снижает темп; и, во-вторых, реагирует на тенденцию роста запасов тоже очень поздно, дожидаясь накопления больших объемов запасов, и очень медленно наращивает темпы. Различные варианты динамических характеристик управляемого поведения ЭА в зависимости от управляющих параметров Δt_i^0 и q представлены в таблице 1. Отметим, что более высокие начальные значения запасов, безусловно, во всех ситуациях приводят к более поздней реакции ЭА.

Таблица 1. Тип управляемого поведения ЭА на неравновесных режимах

Δt_i^0 и q_i	Малое Δt_i^0		Большое Δt_i^0		Ситуации
	малое q_i	большое q_i	малое q_i	большое q_i	
Характеристики поведения ЭА					
Время t_d начала снижения темпов	поздно	поздно	рано	рано	снижение запасов (группа 1)
Объем оставшихся запасов на момент снижения темпов	малый	малый	большой	большой	
Динамическая характеристика реакции при снижении темпов	быстрая	быстрая	медленная	медленная	
Время t_{inc} начала увеличения темпов	рано	поздно	рано	поздно	увеличение запасов (группа 2)
Объем накопленных запасов на момент увеличения темпов	малый	большой	малый	большой	
Динамическая характеристика реакции при увеличении темпов	быстрая	средняя	средняя	медленная	
Тип управляемого поведения ЭА	Быстрый ЭА с малыми запасами	Запаздывающий ЭА	Опережающий ЭА	Медленный ЭА с большими запасами	

Имитационные эксперименты по исследованию характера управляемого поведения экономического агента

Проведены исследования модели поведения ЭА для ситуаций группы 1 при снижении запасов. Отметим, что причины изменений объема запасов заключаются либо в изменении темпов поступления доходов от других ЭА, либо в корректировке планов по расходам в связи с изменением факторов внешней среды. Любое изменение объема запасов свидетельствует о наступлении динамически неравновесного режима функционирования ЭА. Применяется режим работы алгоритма только «на уменьшение» $regUi = 2$, плановый темп дохода $\dot{In}^0 = \dot{R}_i^0 = 10$, объем запаса $St_i^0 = 59$, «страховочный» период планирования $\Delta t_i^0 = 3$.

На рис. 3 представлены: базовый первый эксперимент с возмущением, подаваемым в момент $t = 23$ в виде снижения дохода $\Delta \dot{In} = -5$; эксперимент 2, отличающийся начальным значением запаса $St_i^0 = 95$; и эксперимент 3, где увеличен горизонт планирования запасов $\Delta t_i^0 = 5$.

Первые два эксперимента не отличаются по динамическим характеристикам (равные постоянные времени и коэффициенты передачи, а также новые установившиеся значения запасов $St_i = 15$), начальные значения запасов не сказываются на скорости перехода из одного установившегося состояния в другое. Однако момент начала снижения темпов для более высоких начальных запасов во втором эксперименте наступает позже. В третьем эксперименте за счет большего резервирования запасов агент становится более инерционным, медленнее реагирует на снижение запасов, но раньше; поэтому и запасов сохраняет при восстановлении равновесного режима больше $St_i = 25$ (объясняется большим коэффициентом передачи). Равновесие восстановлено $\dot{In}_i(t) = \dot{Out}_i(t)$ во всех ситуациях.

Результаты еще одной серии экспериментов для ситуаций группы 2, которые моделируются путем подачи возмущений в виде снижения и последующего повышения темпа дохода, представлены на рис. 4. Включен режим работы алгоритма на увеличение и на уменьшение: $regUi = 1$. Второй эксперимент отличается большей величиной q_i , согласно которой рост начинается позже, при большем объеме запасов. Характер переходных процессов более замедленный. Третий эксперимент повторяет первый, но имеет дополнительный скачок в увеличении дохода и имеет целью показать эффект выравнивания потоков доходов

и расходов при различных формах изменения притока (расхода).

Таким образом, предложенный алгоритм управления поведением макроэкономических агентов обеспечивает самовыравнивание темпов доходов и расходов на неравновесных режимах функционирования, причем управление состоит в стремлении приблизить темпы расхода к темпам текущих доходов сектора, изменение которых определяется взаимодействием секторов в составе СЭС. Выявленные закономерности управляемого поведения отдельного ЭА (сектора) используются при исследовании закономерностей взаимодействия множества управляемых ЭА (секторов) в составе СЭС.

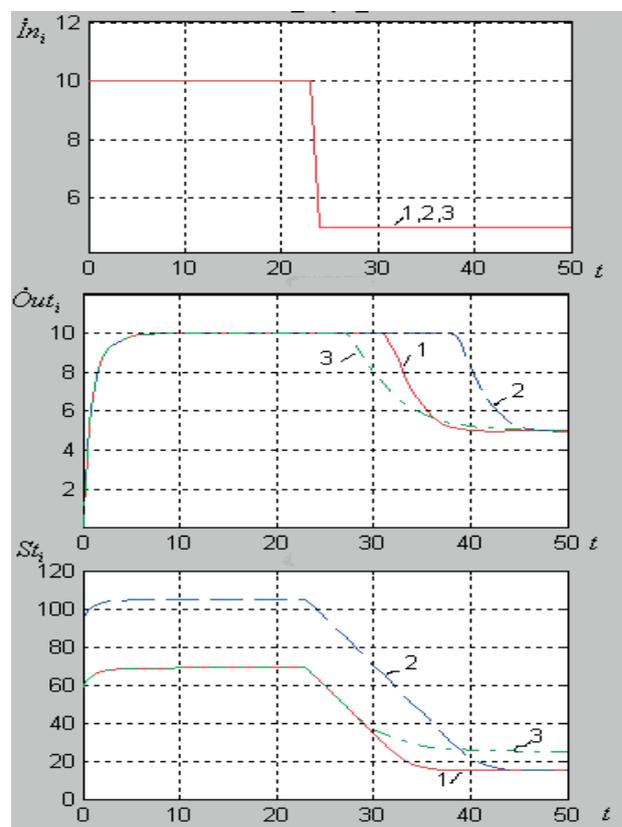


Рис. 3. Графики переходных процессов функционирования ЭА для ситуаций группы 1 при снижении запасов: 1 – базовый сценарий ($St_i^0 = 59, \Delta t_i^0 = 3, q = 9, S_{ycm} = 15$); 2 – сценарий с большими начальными запасами ($St_i^0 = 95, \Delta t_i^0 = 3, q = 9, S_{ycm} = 15$); 3 – сценарий с большими тактическими запасами ($St_i^0 = 59, \Delta t_i^0 = 5, q = 9, S_{ycm} = 25$)

Предложенные варианты интерпретации структурной схемы модели управляемого поведения ЭА позволяют сформировать триединый взгляд на предлагаемую модель, которая воплотила в себе закономерности экономической тео-

рии, теории управления и теории систем. Триада теорий, формирующих математическую основу описания поведения ЭА, является отображением триады подходов, составляющих основу концепции исследования и моделирования СЭС. Обобщенная динамическая модель поведения экономического агента, управляемого на основе информации о запасах ресурсов.

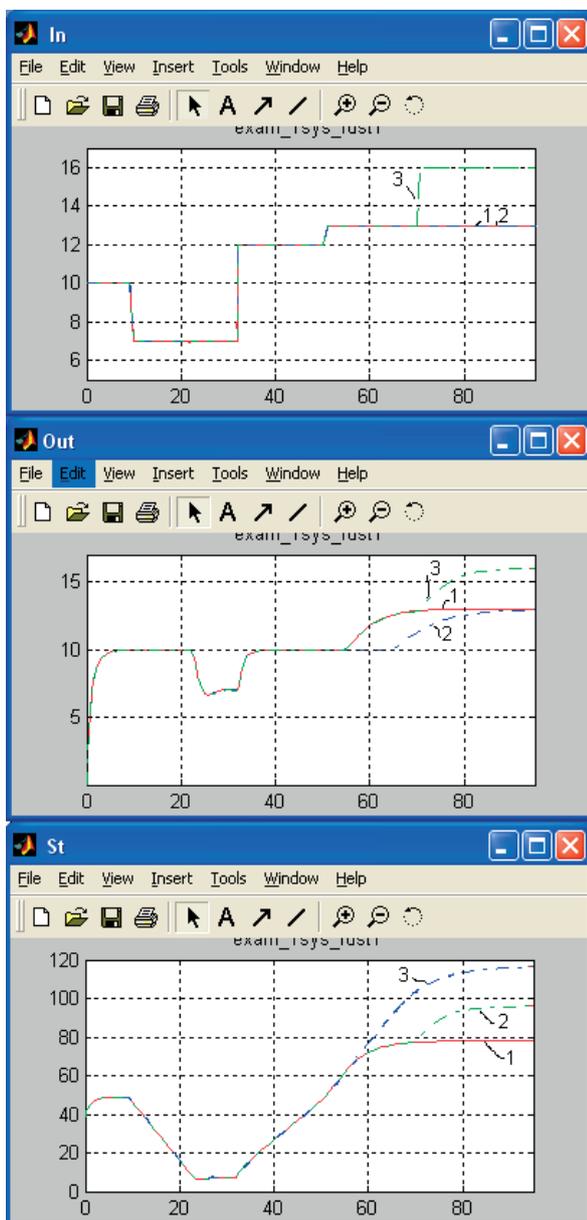


Рис. 4. Графики переходных процессов функционирования ЭА при снижении и последующем увеличении запасов: 1 – базовый сценарий ($\Delta \dot{n}_i = \{-3; 2; 3\}, T = \{9; 32; 50\}, q = 6$); 2 – сценарий с большими стратегическими запасами ($\Delta \dot{n}_i = \{-3; 2; 3\}, T = \{9; 32; 50\}, q = 9$); 3 – сценарий с дополнительным увеличением дохода ($\Delta \dot{n}_i = \{-3; 2; 3; 6\}, T = \{9; 32; 50; 70\}, q = 6$)

На основе обобщенной функциональной схемы динамической модели поведения i -го макроэкономического агента (см. рис. 5) разработана функциональная схема модели деятельности i -го сектора экономики с учетом сформулированного выше распределения функциональных процессов по секторам (также см. рис. 5). Сформирован перечень процессов, которые в общем случае выполняет i -ый сектор СЭС:

- процессы производства ВВП с темпом $\dot{Y}_{gac\ i}(t)$ выпуска ВВП;
- распределения произведенной валовой добавленной стоимости на потоки с темпами: формирования $\dot{R}l_i(t)$ заработной платы наемных работников; формирования косвенных налогов $\dot{T}p_{ij}(t)$ на производство и импорт и формирования валовой прибыли и валовых смешанных доходов $\dot{P}g_i(t)$;
- потребления с темпом $\dot{C}(t)$ – потребления произведенных благ населением;
- сбережения с темпом $\dot{S}_i(t)$ – сбережения части финансовых средств в секторе кредитных организаций;
- формирования валовых инвестиций с темпом $\dot{I}b_i(t)$, расходуемых на валовое накопление основного капитала, приобретение материальных оборотных средств и ценностей;
- передачи трансфертов (текущих и капитальных) i -ым сектором другим секторам СЭС с темпом $\dot{T}r_{ij}(t)$. Эти процессы представлены на функциональной схеме p параллельными каналами, где $p = n - 1$, n – число секторов СЭС.

Функциональная схема деятельности сектора СЭС построена на основе системных принципов моделирования управляемого поведения экономических агентов. Отметим, что плановый темп автономного расхода ресурсов (например, плановый темп $\dot{Y}_i^0(t)$ выпуска ВВП i -ым сектором) может быть вычислен на основании статического расчета с использованием кейнсианской модели макроэкономического равновесия [7].

Получение i -ым сектором доходов представлено следующим перечнем темпов формирования доходов:

- темп формирования ВВП по расходам $\dot{Y}_{exp\ i}(t)$, который сформирован на предыдущем цикле воспроизводственного процесса и становится доходом i -го сектора на следующем цикле;
- темпы формирования трансфертов $\dot{T}r_{ij}(t)$ от i -го сектора к j -му сектору, где $j = \overline{1, p}$, $p = n - 1$, n – число секторов СЭС;

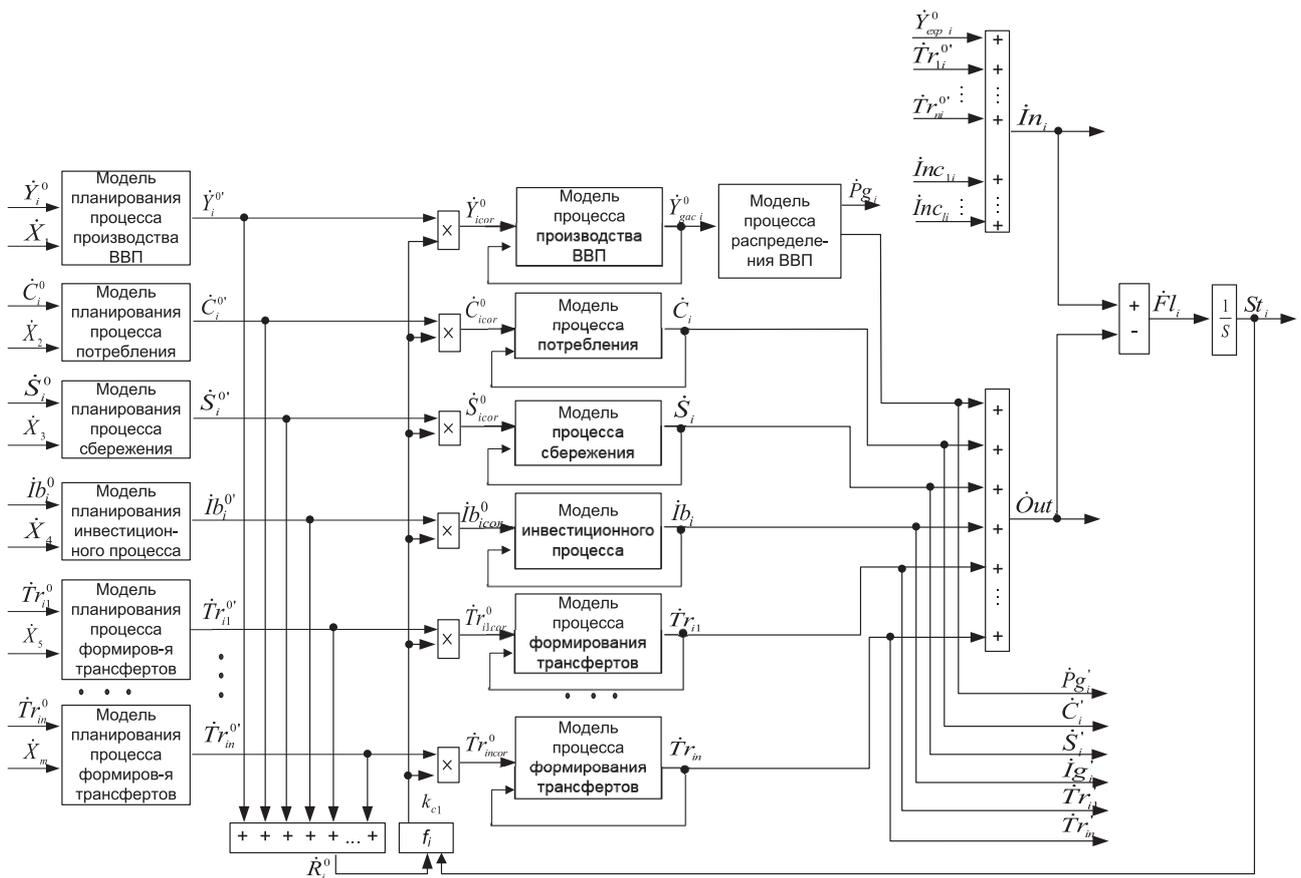


Рис. 5. Обобщенная функциональная схема деятельности сектора СЭС

- темпы формирования доходов $\dot{Inc}_{ki}(t)$, где $k = \overline{1, l}$, l – число потоков доходов, которые обусловлены основным функциональным назначением сектора, названным в вышеперечисленных положениях.

Запасы сектора на начало моделирования задаются в виде начальных значений интегратора. Минимальное значение запаса сектора, необходимое для выхода СЭС на плановый динамически равновесный режим функционирования, определяется значением суммарного темпа расхода финансовых ресурсов $\dot{R}_i^0(t)$, требуемого на интервале Δt^0 времени моделирования

Функциональная схема динамической модели взаимодействия экономических агентов в рамках воспроизводственного процесса на макроуровне

Динамическая модель взаимодействия ЭА в рамках воспроизводственного процесса на макроуровне, функциональная схема которого представлена на рис. 6, включает четыре динамические модели функционирования секторов экономики: производственного (реального) сектора,

сектора домашних хозяйств (населения), сектора финансовых учреждений и государственного сектора [10].

Модели взаимосвязаны двумя типами связей – потоковыми и информационными. Взаимосвязь моделей функционирования секторов по финансовым потокам (сплошные линии) позволяет обеспечить моделирование всех стадий воспроизводственного процесса (производства, распределения, обмена и потребления) в их взаимосвязи, а также замыкание воспроизводственного цикла для обеспечения кругооборота финансовых потоков.

Информационные связи (штриховые линии) используются для формирования управляющих воздействий по корректировке планов расхода финансовых ресурсов секторами СЭС.

Динамические модели секторов СЭС построены на основе единых системных принципов, при этом в рамках модели каждого сектора выполняется: вычисление суммарного темпа формирования дохода (на основе входных потоков); формирование и корректировка плановых темпов расхода финансовых ресурсов; формирование фактических темпов расхода ресурсов (выходных

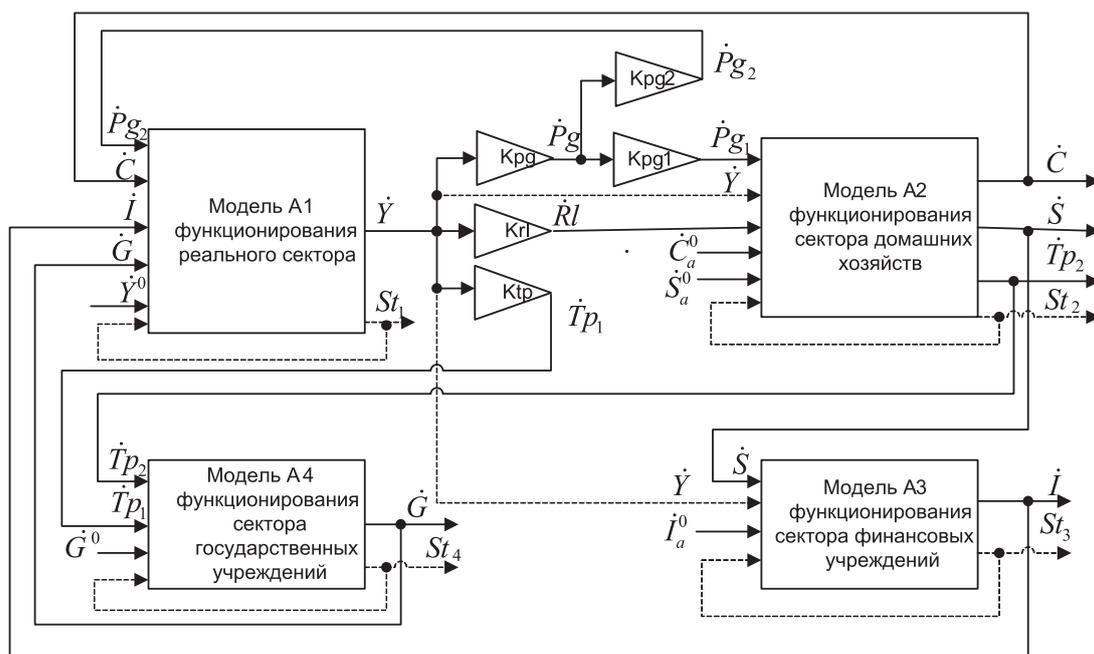


Рис. 6. Функциональная схема динамической модели взаимодействия ЭА в рамках воспроизводственного процесса на макроуровне

потоков) в соответствии с выполняемыми сектором функциональными процессами; вычисление сальдо темпов доходов и расходов сектора и расчет накопленных запасов финансовых ресурсов [10]. Функционирование СЭС на динамически равновесном режиме предполагает выполнение условий равенства суммарного темпа потоков доходов $\dot{In}_i^\Sigma(t)$ (притоков) суммарному темпу потоков расходов $\dot{Out}_i^\Sigma(t)$ (оттоков) для каждого i -го сектора одновременно:

$$\forall i \quad \dot{In}_i^\Sigma(t) = \dot{Out}_i^\Sigma(t).$$

Для реального сектора темп выпуска валового внутреннего продукта (ВВП) $\dot{Y}(t)$ (отток) должен быть равен суммарному темпу притоков:

$$\dot{Y}(t) = \dot{C}(t) + \dot{I}_g(t) + \dot{G}(t),$$

где $\dot{C}(t)$, $\dot{G}(t)$ и $\dot{I}_g(t)$ – темпы формирования потребления, государственных закупок и валовых инвестиций соответственно.

Отметим, что $\dot{I}_g(t) = \dot{I}(t) + \dot{Pg}_2(t)$, где $\dot{I}(t)$ – темп формирования инвестиций сектором финансовых учреждений, а $\dot{Pg}_2(t)$ – темп формирования реальным сектором нераспределенной валовой прибыли.

С учетом распределения произведенного ВВП получим, что $\dot{Y}(t) = \dot{Pg}(t) + \dot{Rl}(t) + \dot{Tp}_1(t)$, где $\dot{Pg}(t)$, $\dot{Rl}(t)$, $\dot{Tp}_1(t)$ – темпы формирования валовой

прибыли, оплаты труда и налогов на производство и импорт соответственно, вычисленные с помощью коэффициентов K_{pg} , K_{rl} , K_{tp} , сумма которых равна единице. Отметим, что темп формирования валовой прибыли $\dot{Pg}(t)$ распределяется на два направления:

$$\dot{Pg}(t) = \dot{Pg}_1(t) + \dot{Pg}_2(t),$$

где $\dot{Pg}_1(t)$ и $\dot{Pg}_2(t)$ – темпы формирования валовой прибыли, передаваемой домохозяйствам, и нераспределенной валовой прибыли соответственно. Их вычисление ведется с помощью коэффициентов K_{pg1} , K_{pg2} , в сумме равных единице.

На основе приведенных выше формул формируется равенство темпа выпуска ВВП, вычисленного по доходам, темпу выпуска ВВП, вычисленному по расходам.

Для сектора домашних хозяйств условие существования динамически равновесного режима запишется в виде:

$$\dot{C}(t) + \dot{S}(t) + \dot{Tp}_2(t) = \dot{Pg}_1(t) + \dot{Rl}(t),$$

где $\dot{S}(t)$, $\dot{Tp}_2(t)$ – темпы формирования сбережений и налогов домохозяйствами. Для сектора финансовых учреждений условие равновесия имеет вид: $\dot{I}(t) = \dot{S}(t)$, соответствующий известному тождеству инвестиций и сбережений. Для сектора государственных учреждений условие равновесия запишется следующим образом:

$$\dot{G}(t) = \dot{T}p_1(t) + \dot{T}p_2(t).$$

Отметим, что каждый сектор имеет планы по расходу ресурсов. Реальный сектор формирует плановый темп выпуска ВВП $\dot{Y}(t)$, сектор домашних хозяйств – плановые темпы автономного потребления $\dot{C}_a^0(t)$ и автономных сбережений $\dot{S}_a^0(t)$; секторы финансовых и государственных учреждений – плановые темпы формирования автономных инвестиций $\dot{I}_a^0(t)$ и государственных закупок $\dot{G}^0(t)$ соответственно. Формирование планов осуществляется исходя из условий соблюдения баланса темпов потоков доходов и расходов по всем секторам СЭС. Только при соблюдении условий равновесия для всех секторов СЭС одновременно вся СЭС в целом функционирует на динамически равновесном режиме.

Имитационные эксперименты взаимосвязанного функционирования экономических агентов в рамках воспроизводственного процесса на макроуровне

Для анализа сценариев и формирования закономерностей неуправляемого поведения СЭС на динамически неравновесных режимах выделены восемь групп неравновесных состояний макроэкономической СЭС. Первые четыре группы составляют ситуации с отрицательным сальдо потоков доходов и расходов для i -го сектора $\dot{Fl}_i(t) < 0; i = \overline{1,4}$; остальные четыре – с положительным сальдо $\dot{Fl}_i(t) > 0$. В рамках каждой группы проведены экспериментальные исследования.

При проведении экспериментов необходимо определить вектор режимов работы управляющих алгоритмов для секторов СЭС $RegU = \{regU_i\}$, $i = \overline{1,4}$; i – номер сектора.

Сформулируем закономерности неуправляемого функционирования МЭС на неравновесном режиме на примере. Рассмотрим первый сценарий, которому соответствует создание неравновесной ситуации с положительным сальдо $\dot{Fl}_2(t) > 0$ для сектора домохозяйств. Отметим, что за единицу времени моделирования принят месяц. Период моделирования принимается равным 150 месяцам. Установлены следующие начальные значения плановых темпов расхода ресурсов: для производства ВВП $\dot{Y}^0(t) = 10$; формирования автономного потребления $\dot{C}_a^0(t) = 2$; для автономного сбережения $\dot{S}_a^0(t) = 1,5$; для автономных инвестиций $\dot{I}_a^0(t) = 0,5$; для формирования госзакупок

$\dot{G}^0(t) = 3$. При распределении ВВП приняты следующие значения коэффициентов формирования: оплаты труда $K_{r,t} = 0,4$, валовой прибыли $K_{pg} = 0,4$; налогов $K_t = 0,2$. Вектор режимов управления для секторов МЭС $RegU = \{2,1,2,2\}$.

Ситуация моделируется путем подачи возмущений в момент времени $t = 14$ в виде снижения темпов формирования автономного потребления $\Delta \dot{C}_a(t) = -1$ и повышения темпов формирования автономного сбережения $\Delta \dot{S}_a(t) = 0,5$. Сальдо потоков становится равным $\dot{Fl}_2(t) = 0,5$, что соответствует росту накоплений у населения, и, следовательно, изъятию из оборота части ресурсов.

Графики переходных процессов, соответствующих первому сценарию неуправляемого поведения СЭС, а также второму и третьему сценариям управляемого поведения СЭС, представлены на рис. 7.

Начальным событием 1 является подача внешнего возмущения в момент $t = 14$, которое вызывает нарушение равновесия сразу в трех секторах. Секторы домохозяйств и кредитных организаций богатеют и только реальный сектор беднеет вследствие снижения потребления $\dot{C}(t)$ (см. сценарий 1 на рис. 7). Наметившиеся тенденции сохраняются до момента $t = 20$, в который происходит событие, являющееся следствием указанных тенденций. Это событие вызвано ростом накоплений населения, что способствует возрастанию потребления (включился алгоритм «на увеличение») Тенденции изменились только для домохозяйств: сектор приближается к состоянию равновесия – с заниженным потреблением, возросшими сбережениями и запасами.

В неравновесии теперь находятся два сектора: реальный и сектор финансовых учреждений. Критическим является положение реального сектора, в котором пока (до момента $t = 30$) поддерживается прежний темп выпуска ВВП (см. рис. 3), однако ресурсы его истощаются. Поэтому неизбежно (при отсутствии управления) наступает первый «обвал» экономики: темп выпуска ВВП $\dot{Y}(t)$ стремительно падает на величину большую, чем снизилось ранее потребление, в соответствии с известным мультипликативным эффектом [11]. Тенденции изменились. В реальном секторе восстановлено равновесие, пусть на более низком уровне выпуска ВВП. Другие же сектора незамедлительно отреагировали на падение ВВП: домохозяйства резко снижают все свои расходы вследствие снижения оплаты труда $\dot{Rl}(t)$ и прибыли $\dot{Pg}(t)$, сектор беднеет; сектор государст-

венных учреждений теряет доходы вследствие снижения налогов $\dot{T}p_1(t)$ и $\dot{T}p_2(t)$, сектор беднеет; и только банковский сектор продолжает находиться «в плюсе». Более критическим является положение беднеющего населения, запасы которого невелики по сравнению с государственным сектором (см. рис. 7).

В момент $t = 82$ дополнительно снижаются расходы населения, что сразу же сказывается на ВВП, вызывая его падение. Тенденции характеризуются восстановлением равновесия в реальном секторе и секторе домохозяйств. Банковский сектор продолжает наращивать запасы, а государственный сектор сохраняет неизменными госзакупки $\dot{G}(t)$, несмотря на снижение налогов, истощая тем самым свои запасы. Положение

именно этого сектора и является критическим: именно от этого сектора нужно ждать изменений в поведении в первую очередь.

Это подтверждается наступлением события 6, когда государственных фондов стало недостаточно для поддержания прежнего темпа формирования госзакупок $\dot{G}(t)$. Вслед за снижением госзакупок (элементом совокупного спроса $\dot{A}d(t)$) незамедлительно наступает реакция в виде второго «обвала» экономики. ВВП $\dot{Y}(t)$ снижается на величину, значительно превосходящую величину снижения госзакупок $\dot{G}(t)$ согласно мультипликативному эффекту. Вследствие этого происходят существенные снижения в доходах и, следовательно, в расходах всех секторов, в том числе и в банковском. Результатом является достижение

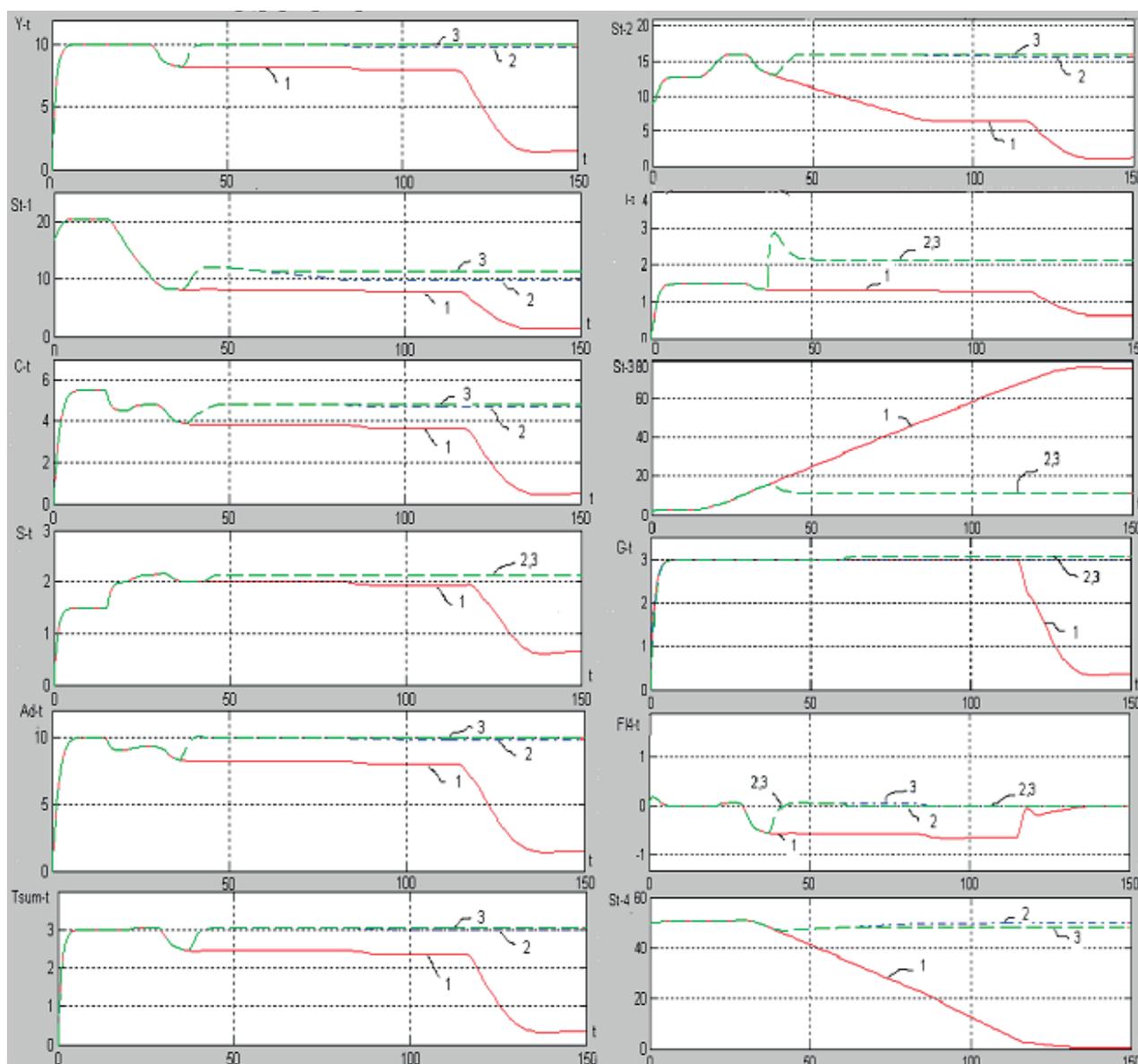


Рис. 7. Графики результатов эксперимента по сценариям 1; 2 и 3

состояния равновесия по всем секторам СЭС и переход на динамически равновесный режим функционирования в условиях экономического спада.

Предложены два управляемых сценария для неравновесной ситуации, реализованной в сценарии 1. Сценарий 2 управляемого поведения СЭС предполагает принятие решения в момент $t = 36$ (после первого «обвала» экономики) в виде увеличения расходов сектора кредитных учреждений.

Сценарий 3 управляемого поведения СЭС отличается от сценария 2 принятием дополнительного решения в момент $t = 59$. Решение представлено в виде увеличения госзакупок на величину, которая восстанавливает баланс доходов и расходов сектора. Следствием такого своевременного вмешательства является более быстрое восстановление равновесия не только в государственном секторе, но и во всей МЭС в целом, а также возможность поддержания темпа выпуска ВВП на прежнем уровне $\dot{Y}(t) = 10$ (см. рис. 7).

Заключение

Таким образом, разработанные динамические модели функционирования ЭА позволяют выявить особенности его реакции при изменении доходов и сформулировать основные типы управляемого поведения агента: быстрого агента с малыми запасами; медленного агента с большими запасами; опережающего и запаздывающего агентов с варьируемыми запасами. Динамическая модель взаимодействия экономических агентов в рамках воспроизводственного процесса на макроуровне позволяет отразить динамику процессов установления равновесия между потоками доходов и расходов сектора с учетом запасов капитала при реализации им процессов производства и распределения ВВП, сбережения, инвестирования и передачи трансфертов.

Сформулированы закономерности управляемого поведения СЭС на динамически неравновесном режиме. Показано, что при формировании тенденций роста запасов сектора целесообразно принимать решения об увеличении расходов, что препятствует изъятию из оборота части ресурсов. Принятие таких решений способствует восстановлению равновесия в первую очередь в секторе, по которому было принято решение; и только затем последствия этого решения сказываются на функционировании других секторов с учетом механизма взаимовлияния потоков и запасов. Показано, что ключевым является реальный сектор,

от состояния которого зависит состояние других секторов и всей СЭС в целом.

Сформулированные закономерности являются основой для разработки интеллектуальной подсистемы поддержки принятия решений в системе имитационного моделирования воспроизводственным процессом СЭС. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № НК 14-08-00673.14.

Литература

1. Кузык Б.Н., Кушлин В.И., Яковец Ю.В. Прогнозирование, стратегическое планирование и национальное программирование. М.: Экономика, 2011. – 604 с.
2. 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.
3. Емельянов А.А., Власова Е.А., Дума Р.В. Имитационное моделирование экономических процессов. Под ред. А.А. Емельянова. М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2009. – 416 с.
4. 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.
5. Ильясов Б.Г., Макарова Е.А., Валитов Р.Р. Имитационная модель регулирования расходов и доходов населения в системе макроэкономического кругооборота // Программные продукты и системы. №1, 2011. – С. 123-126.
6. Димов Э.М., Маслов О.Н. О точности и адекватности метода статистического имитационного моделирования // ИКТ. Т.5, № 1, 2007. – С. 60-67.
7. Егорова Н.Е., Смулов А.М. Предприятия и банки: Взаимодействие, экономический анализ, моделирование. М.: Дело, 2002. – 456 с.
8. Ильясов Б.Г., Дегтярева И.В., Макарова Е.А. Поточно-запасная модель макроэкономического воспроизводственного процесса // Научное обозрение. №8, 2014. – С. 473-479.
9. Макарова Е.А., Зимица Г.А. Методология исследования и моделирования динамики реализации инвестиционного проекта // Мехатроника, автоматизация, управление. №9, 2007. – С. 32-37.
10. Ильясов Б.Г., Дегтярева И.В., Макарова Е.А., Габдуллина Э.Р. Моделирование динамики кругооборота финансовых потоков с учетом накопления финансовых ресурсов // Вестник

- компьютерных и информационных технологий. №1, 2009. – С. 28-38.
11. Никифоров А.А., Антипина О.Н., Миклашевская Н.А. Макроэкономика: научные школы, концепции, экономическая политика. Под ред. А.В. Сидоровича. М.: Дело и сервис, 2008. – 534 с.
12. Маневич В.Е. Кейнсианская теория и российская экономика. М.: Наука, 2008. – 221 с.

Получено 15.02.2015

Макарова Елена Анатольевна, д.т.н., профессор Кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. Тел. 8-989-955-87-40. E-mail: ea-makarova@mail.ru

DYNAMIC MODELS FOR ECONOMIC AGENTS OPERATION AND INTERACTION UNDER REPRODUCTION PROCESS ADJUSTED FOR CAPITAL STOCKS

Makarova E.A.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

E-mail: ea-makarova@mail.ru

This work represents system concepts for modeling economic agent controlled behavior. Economic agent has margin of resources. It earns an income, performs one or several activities related with expenses, and provides adapted planning and management for its expenses. Dynamic models for controlled behavior of economic agents have been developed and are represented in this paper. Proposed models provide determination of the features of economic agent response to income variation. Economic agent controlled behavior is classified into the following types: fast agent with low resources, slow agent with great resources, advanced and delayed agents with varying resources. Dynamic models of interactions between economic agents under macroeconomic financial flows are developed. Proposed models provide simulation of dynamics of adjustment processes between income and expense flows by taking into account agent capital stocks. Simulation of experiments concerned on research of self-adjustment financial flows was performed. It provides identification of regularities of agent behavior by taking into account influence of income and expense financial flows and capital stocks. Here the formation of trend for growth of agent stock is viable under making decision to increase expenses that prevents withdrawal of the part of resources. These decisions help to restore balance for agent, when the decision was made. And after that implications of these decisions effect on operation of other agents with regard to interactions of flows and stocks. Derived regularities are basis for development of intellectual decision-making system for simulation of economic and social system reproduction process.

Keywords: economic and social systems, economic agent, dynamic model, flow, capital stock, nonlinear algorithm.

DOI: 10.18469/ikt.2015.13.2.09.

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

References

1. Kuzyk B.N., Kushlin V.I., Jakovec Ju.V. *Prognozirovanie, strategicheskoe planirovanie i nacional'noe programirovanie* [Forecasting, strategic planning and national programming]. Moscow, Ekonomika Publ., 2011. 604 p.
2. Akaev A.A., Korotaev A.V., Malineckij G.G. *Prognoz i modelirovanie krizisov i mirovoj dinamiki* [Prediction and simulation of crises and global dynamics]. Moscow, LKI Publ., 2010. 352 p.
3. Emel'janov A.A., Vlasova E.A., Duma R.V. *Imitacionnoe modelirovanie jekonomicheskikh processov* [Simulation modeling of economic processes]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2009. 416 p.
4. Dimov Je.M., Maslov O.N., Troshin Ju.V. Snizhenie neopredelennosti vybora upravlencheskih reshenij s pomoshh'ju metoda statisticheskogo imitacionnogo modelirovanija [Reducing Uncertainty in a Choice of Management Desicions Using Statistical Simulation] *Informacionnye tehnologii*, 2014, no. 6, pp. 51-57.
5. Il'jasov B.G., Makarova E.A., Valitov R.R. Imitacionnaja model' regulirovanija rashodov i dohodov naselenija v sisteme makrojekonomicheskogo krugoorota [Simulation model of regulation of personal

- costs and income in the macroeconomic circular movement]. *Programmnye produkty i sistemy*, 2011, no. 1, pp. 123-126.
6. Dimov Je.M., Maslov O.N. O tochnosti i adekvatnosti metoda statisticheskogo imitacionnogo modelirovanija [Accuracy and adequacy of the statistical simulation method]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2007, vol. 5, no. 1, pp. 60-67.
 7. Egorova N.E., Smulov A.M. *Predpriyatija i banki: vzaimodejstvie, jekonomicheskij analiz, modelirovanie* [Companies & banks: interaction, economic analysis, modeling]. Moscow, Delo Publ., 2002. 456 p.
 8. Il'jasov B.G., Degtjareva I.V., Makarova E.A. Potochno-zapasnaja model' makrojekonomicheskogo vosproizvodstvennogo processa [Flow-reserve model of macroeconomic reproductive process]. *Nauchnoe obozrenie*, 2014, no. 8, pp. 473-479.
 9. Makarova E.A., Zimina G.A. Metodologija issledovanija i modelirovanija dinamiki realizacii investicionnogo proekta [Methodology of research and modeling of the dynamics of realization of the investment project]. *Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie*, 2007, no. 9, pp. 32-37.
 10. Il'jasov B.G., Degtjareva I.V., Makarova E.A., Gabdullina Je.R. Modelirovanie dinamiki krugoooborota finansovyh potokov s uchetom nakoplenija finansovyh resursov [Computer modeling of financial flows circulation with an allowance for financial resources accumulation]. *Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij*, 2009, no. 1, pp. 28-38.
 11. Nikiforov A.A., Antipina O.N., Miklashevskaja N.A. *Makrojekonomika: nauchnye shkoly, koncepcii, jekonomicheskaja politika* [Macroeconomics: scientific schools, concepts, economic policy]. Moscow, Delo i servis Publ., 2008. 534 p.
 12. Manevich V.E. *Kejnsianskaja teorija i rossijskaja jekonomika* [Keynesian theory and Russian economy]. Moscow, Nauka Publ., 2008. 221 p.

Received 15.02.2015

УДК 004.021

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ

Гаврилова А.А.¹, Салов А.Г.², Иванова Д.В.²

¹ Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

² Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Самара, РФ

E-mail: a.a.gavrilova@mail.ru

В статье проведена оценка устойчивости макроэкономического объекта – промышленного комплекса Самарской области на основе исследования предельных производительностей использования бизнес-ресурсов. Построены математические модели, адекватно описывающие функционирование сложного производственно-экономического объекта по экологическому критерию. Методами имитационного моделирования проанализировано влияние основных бизнес-ресурсов на конечные показатели деятельности системы. Сконструирована и предложена система управления, позволяющая прогнозировать управленческие решения в сфере инвестирования в систему для улучшения экологической ситуации. Разработаны подходы к принятию решений по выбору величины инвестирования, улучшающей экологическую ситуацию в регионе.

Ключевые слова: управление, эффективность, выбросы, математическая модель, природоохранные мероприятия, производственная функция, валовый региональный продукт, принятие решений.

Введение

Одной из важнейших задач управления сложными системами является повышение комплексной эффективности их функционирования – оптимальное использование имеющихся в распоряжении системы ресурсов для достижения высоких конечных результатов.

В этой связи актуальным является исследование макроэкономических объектов методами имитационного моделирования, разработка математических моделей и построение прогнозов на их основе. В данной статье предложен один из возможных подходов к исследованию деятельности производственно-экономического объекта – региональной промышленной системы по