

Проблемы и концептуальные основы системного анализа и моделирования воспроизводственного процесса на макроуровне с учетом взаимодействия потоков и запасов



Автор статьи:

Б. Г. Ильясов,

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технической кибернетики
Уфимского государственного авиационного технического университета
г.Уфа, Российская Федерация

E-mail: ea-makarova@mail.ru

Е. А. Макарова,

д.т.н., профессор кафедры технической кибернетики
Уфимского государственного авиационного технического университета
г.Уфа, Российская Федерация

Противоречивость и неопределенность современных условий мирового экономического развития выдвигают настоятельные требования к решению проблем прогнозирования, программирования национальной экономики и поддержки принятия решений на макроэкономическом уровне [1]. Одной из важных проблем является *проблема системного анализа, моделирования и управления* воспроизводственным процессом макроэкономической системы (МЭС), который функционирует с учетом рыночных регулирующих механизмов в условиях неопределенности и обладает ограниченными ресурсами.

Одним из направлений исследований в решении этой проблемы является разработка модельных комплексов и программных инструментариев, предназначенных для прогнозирования и поддержки принятия решений на макроэкономическом уровне, которые основаны на имитационных динамических моделях. В рамках проводимого авторами исследования разработана система имитационного моделирования и интеллектуальной поддержки управления (СИМ ИПУ) воспроизводственным процессом МЭС на основе *системных и динамических моделей макроэкономического кругооборота финансовых потоков*, формируемого в рамках МЭС [2].

Разработка системных и динамических моделей воспроизводственного процесса МЭС ведется на основе *методологии системного анализа* и предполагает решение следующих проблем. Во-первых, это разработка *концептуальных основ* системного и динамического моделирования, а также интеллектуальной поддержки управления воспроизводственным процессом МЭС. Во-вторых, это разработка *комплекса системных и динамических моделей*, которые предназначены для описания различных аспектов функционирования МЭС, выделенных в соответствии с концептуальными положениями. В-третьих, это разработка совокупности принципов, методов и алгоритмов решения поставленных *задач управления* МЭС с использованием предложенных концептуальных подходов и комплекса системных моделей.

Решение перечисленных проблем выполняется на основе следующих системных принципов:

1. *Принцип проектирования «сверху вниз»*, согласно которому вначале разрабатывается упрощенная модель всей системы в целом с малым количеством подсистем (секторов экономики) и с упрощенным описанием поведения секторов экономики; и только потом выполняется дальнейшая декомпозиция выделенных подсистем (секторов экономики) на элементы и разработка моделей этих элементов (групп отраслей, например) с последующей композицией их в единую систему с учетом ранее выявленных свойств всей системы в целом. Этот принцип соответствует *требованиям системного подхода*, которые состоят в соблюдении *прерогативы целостности* объекта, согласно которой только после познания свойств целого возможно познание свойств его частей.
2. *Принцип последовательного усложнения модели*, согласно которому при разработке моделей среди множества выделенных важных факторов, свойств системы вначале учитываются только самые важные, системообразующие факторы (например, взаимодействие потоков и запасов), а затем последовательно вводятся в модель дополнительные факторы (например, рыночные механизмы).
3. *Принцип замкнутости интегральных финансовых потоков* требует такого определения *границ системы*, в рамках которых находились бы все основные замкнутые контуры макроэкономического кругооборота финансовых потоков. Применение этого принципа позволило определить *объект исследования*, в качестве которого рассматривается воспроизводственный процесс, который протекает в макроэкономической системе в рыночных условиях и охватывает стадии производства, обмена,

распределения, потребления, сбережения и инвестирования, образующие во взаимосвязи макроэкономический кругооборот финансовых потоков.

Применение перечисленных принципов при решении выделенных проблем системного и динамического моделирования воспроизводственного процесса МЭС позволило выделить следующую последовательность решаемых задач исследования.

Во-первых, это разработка концептуальных основ построения системных и динамических поточно-запасных моделей воспроизводственного процесса МЭС с учетом взаимодействия потоков и запасов; разработка сценариев принятия решений при реализации различных политик государственного регулирования экономики и их исследование методом имитационного моделирования.

Во-вторых, это расширение поточно-запасной модели воспроизводственного процесса МЭС за счет введения рыночных регулирующих механизмов; разработка концептуальных основ, системных и динамических моделей воспроизводственного процесса МЭС с учетом взаимодействия потоков, запасов и рыночных механизмов; а также проведение экспериментальных исследований функционирования МЭС в неопределенных рыночных условиях.

В-третьих, это увеличение глубины декомпозиции МЭС и разработка моделей отдельных секторов МЭС (реального, сектора домохозяйств или банковского сектора) в виде взаимодействующих подсистем (групп отраслей, децильных групп или кластеров банковских учреждений соответственно) с последующей их композицией в единую систему, исходя из условий существования ранее выявленных эмерджентных свойств всей МЭС в целом (например, мультипликативных эффектов); формирование сценариев государственного регулирования с учетом рыночных условий и структурных особенностей отдельных секторов экономики, которые направлены на реализацию путей инвестиционного и инновационного роста экономики с учетом требований социальной политики.

Данная статья **посвящена решению первой задачи**, в рамках которой рассматриваются вопросы разработки поточно-запасной концепции моделирования воспроизводственного процесса МЭС, необходимой для последующей разработки когнитивной модели МЭС с учетом взаимодействия потоков и запасов.

Особенность применения системного подхода при моделировании воспроизводственного процесса МЭС

Концепция системного и динамического моделирования воспроизводственного процесса МЭС строится на основе динамического, функционального, процессного, структурного и других общенаучных подходов, интегрированных на основе системного подхода [3].

Особенность применения **системного подхода** заключается в том, что структуризация МЭС выполняется путем последовательного применения различных способов декомпозиции и включает три этапа.

1. На первом этапе первоначальной структуризации МЭС в качестве базовых элементов рассматривается множество макроэкономических агентов (МЭА), взаимосвязанных с помощью финансовых потоков, циркулирующих между ними. Макроэкономическим агентом называется множество однотипных экономических субъектов, обобщенных по их роли в МЭС и интегрированных в самостоятельно действующее лицо в экономике, которое может принимать экономические решения, выступать в качестве производителя или покупателя экономических благ (товаров, услуг). *Поток* – это экономическая величина, измеряемая как количество (благ, денег) за определенный период времени (год, месяц).

Результатом первого этапа декомпозиции МЭС является когнитивная модель воспроизводственного процесса МЭС, в которой выделенные макроэкономические агенты выполняют агрегированные функции производства, распределения и перераспределения, потребления, сбережения и инвестирования, образующие в целом воспроизводственный процесс МЭС.

Необходимо отметить, что построение когнитивной модели и определение в ней в качестве элементов макроэкономических агентов выполнено с привлечением подходов других групп: *когнитивного подхода*, предполагающего выделение основных сущностей, понятий предметной области и установление причинно-следственных связей между ними; и, во-вторых, *мультиагентного подхода*, предполагающего определение правил поведения МЭА и их взаимодействия в рамках МЭС.

Назначение когнитивной модели заключается в выявлении множества замкнутых контуров формирования доходов и расходов всех МЭА, образующих макроэкономический кругооборот финансовых потоков МЭС, что позволяет с системных позиций подойти, во-первых, к исследованию локальных путей (цепочек) распространения возмущений, порождающих различные мультипликативные макроэкономические эффекты; и, во-вторых, к исследованию параллельных путей распространения возмущений по нескольким контурам одновременно с

целью выявления кумулятивного (синергетического) эффекта от их одновременного действия¹.

На этом этапе закономерности функционирования макроэкономических рынков рассматриваются как воздействие внешней среды.

2. На втором этапе формирования структуры МЭС производится уточнение состава МЭА и выполняемых ими функций с учетом принятых в системе национальных счетов (СНС) и используемых в макроэкономическом анализе группировок экономики по секторам. Этот этап выполняется на основе **функционального подхода**, позволяющего определить состав выполняемых секторами функций, согласованных в рамках единого воспроизводственного процесса. Результатом этого этапа является множество иерархически упорядоченных функциональных схем, состоящих из взаимосвязанных элементов – секторов экономики, выполняющих множество функций. Связи между процессами представлены финансовыми и материальными потоками.

Назначение функциональных моделей заключается в обеспечении перехода от структурно-функционального описания воспроизводственного процесса многосекторной МЭС к системному описанию динамических особенностей кругооборота финансовых потоков, образующего воспроизводственный процесс МЭС.

3. Дальнейшая декомпозиция функций секторов МЭС на четвертом этапе основана на применении **процессного подхода** и предполагает определение множества процессов, выполняемых при реализации функций. Отметим, что каждый элементарный процесс выполняет некоторое преобразование входного потока в выходной.

Разработанные модели (когнитивные, функциональные, процессные, а также динамические), описывающие различные структуры МЭС, позволяют, согласно **структурному подходу**, исследовать взаимосвязи между структурными особенностями системы и ее свойствами. Отметим, что предложенная последовательность структуризации МЭС является концептуальной основой для применения принципа последовательного усложнения модели при разработке модельного комплекса.

Динамически неравновесный режим функционирования МЭС

Применение **динамического подхода** предполагает описание динамических свойств воспроизводственного процесса МЭС с учетом изменяющихся во времени управляющих и возмущающих воздействий. Отметим, что описание динамики воспроизводственного процесса МЭС ведется в соответствии с основными макроэкономическими тождествами и имеет следующие особенности.

Первая особенность заключается в том, что исследуются динамически неравновесные режимы протекания воспроизводственных процессов МЭС в условиях предположения о существовании динамически равновесного состояния [5].

Динамически равновесный, или установившийся, режим соответствует такому функционированию МЭС, при котором процессы производства, распределения и потребления, образующие воспроизводственный процесс МЭС, протекают с установившимися темпами потоков, которые сбалансированы по расходам и доходам всех МЭА. Для динамически равновесного режима функционирования МЭС справедливы известные макроэкономические тождества, определяющие балансовые соотношения между темпами расходов и доходов, инвестирования и сбережения и т.д.

Динамически равновесный режим функционирования МЭС является некоторой идеализацией состояния МЭС и в реальности может возникать лишь кратковременно как точка перехода при движении МЭС на множестве неравновесных состояний вследствие постоянно возникающих изменений разнообразных факторов (условий производства, состояния рынков). Реальное равновесие МЭС – это динамическое равновесие в некоторой области, определяемой постоянными колебаниями вокруг некоторого идеального состояния равновесия.

Динамически неравновесный режим соответствует процессу перехода МЭС из одного динамически равновесного состояния, нарушенного действием различных факторов, к другому динамически равновесному состоянию. Поведение системы на неравновесных режимах функционирования определяется динамическими свойствами ее элементов и связей между ними, которые, как следствие, оказывают влияние как на формирование нового равновесного состояния, так и на форму и время перехода к этому состоянию.

Отметим, что динамически равновесные состояния традиционно анализируются во многих макроэкономических моделях (модели Кейнса, модели *IS-LM* Хикса–Хансена). В проводимом исследовании знания о состояниях равновесия МЭС используются для анализа тенденций движения системы на множестве неравновесных состояний, при этом они служат ориентиром как при выявлении причин нарушения равновесия в прошлом, так и при формировании управляющих воздействий при движении к новому равновесному состоянию в будущем.

Неравновесные режимы функционирования МЭС

и показатели потоков и запасов

Вторая особенность применения динамического подхода состоит в том, что неравновесные режимы функционирования МЭС должны описываться не только с помощью *показателей потоков* расходов и доходов МЭА, но и с помощью *показателей накопленных ими запасов* [6]. В качестве показателей потоков рассматриваются темпы (скорости) движения финансовых потоков, показателями запасов являются объемы накопленных ресурсов.

Применение *концепции финансовых потоков* позволяет анализировать динамику движения разнонаправленных и неравномерно распределенных во времени финансовых потоков в виде темпов расходов и доходов МЭА, а также выявлять причины отклонения движения потоков от плана с целью формирования управленческих решений.

Использование показателей запасов при моделировании динамики поведения МЭС обусловлено необходимостью применения *концепции ограниченности ресурсов*. Согласно этой концепции, макроэкономические агенты в каждый момент времени обладают ограниченным объемом финансовых и материальных ресурсов, величина которых определяется изменяющимися во времени темпами притоков и оттоков ресурсов. Вследствие неравновесности процессов кругооборота МЭС запасы макроэкономических агентов могут подвергнуться таким существенным изменениям, что не учитывать их влияние было бы ошибочным. Возможны ситуации, когда запасы настолько уменьшились, что не позволяют поддерживать прежние темпы расходов МЭА. Либо, наоборот, запасы значительно возросли, поэтому возможен переход МЭА на новый, более высокий уровень расходования финансовых ресурсов.

Анализ взаимообусловленности изменения во времени *финансовых потоков* и *запасов* предполагает, что необходимо учитывать не только влияние потоков на изменение запасов, но и обратное воздействие размера накопленных запасов ресурсов на формирование потоков. Отметим, что если прямое влияние потоков на запасы отражается при моделировании *потоковыми* связями, то обратное влияние запасов на потоки носит *информационный* характер и служит основой для принятия решений МЭА о корректировке темпов расходования накопленных запасов финансовых ресурсов.

В качестве обобщения двух выделенных особенностей применения динамического подхода отметим, что *изменение объемов запасов* возможно только на *динамически неравновесных режимах*, когда нарушается *равновесие* между *темпами финансовых потоков*. Именно в эти периоды макроэкономический агент имеет либо шанс «разбогатеть» при удачном управлении потоками, либо риск «обеднеть» – в случае неудач. Для МЭС в целом такие изменения могут привести к нарушению воспроизводственных пропорций и ухудшению экономической конъюнктуры. Поэтому необходимо *управление*, которое реализуется на неравновесных режимах с учетом динамических особенностей перехода к новому состоянию равновесия. Принимаемые управляющие решения определяют не только темпы кругооборота потоков в МЭС, но и, как следствие, запасы макроэкономических агентов, которые, в свою очередь, вновь влияют на темпы потоков в рамках макроэкономического кругооборота.

Таким образом, исследование динамики неравновесных воспроизводственных процессов МЭС связано с исследованием взаимосвязанного изменения во времени *трех системных факторов*: темпов потоков, объемов запасов финансовых ресурсов и управления каждым макроэкономическим агентом в отдельности, влияющих на динамику всего кругооборота потоков МЭС в целом.

Механизм взаимодействия потоков и запасов

Взаимосвязь между перечисленными системными факторами проиллюстрирована в виде триады (рис. 1).

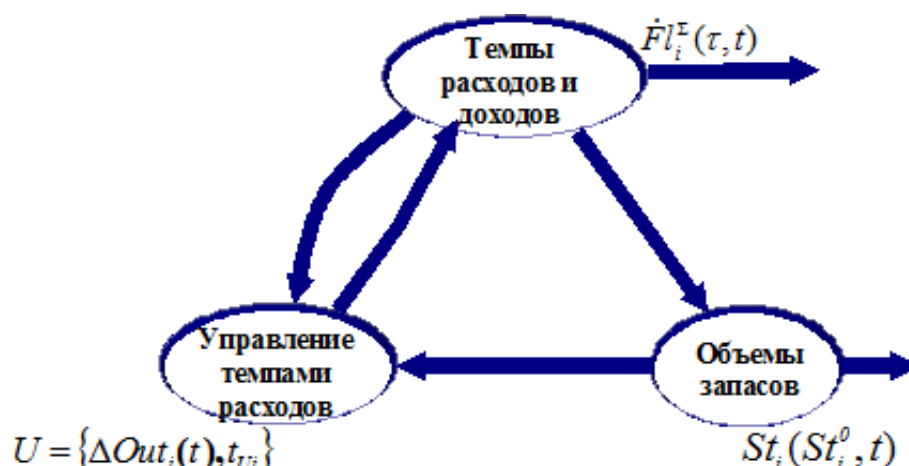


Рис. 1. Триада системных факторов, определяющих характер неравновесных воспроизводственных процессов в МЭС с учетом запасов

Координатами, характеризующими состояние сложной динамической системы (i -го макроэкономического агента), являются объем запаса $St_i(t)$ и алгебраическая сумма темпов движения потоков (сальдо) $\dot{Fl}_i^{\Sigma}(t)$, которая вычисляется по формуле: $\dot{Fl}_i^{\Sigma}(t) = \dot{In}_i^{\Sigma}(t) - \dot{Out}_i^{\Sigma}(t)$, где $\dot{In}_i^{\Sigma}(t)$ и $\dot{Out}_i^{\Sigma}(t)$ – темпы суммарного входного потока (дохода) и выходного потока (расхода) i -го МЭА соответственно.

Объем запаса $St_i(t)$ является функцией времени и зависит от значения запаса St_i^0 на начало периода исследования, а также от сальдо потоков $\dot{Fl}_i^{\Sigma}(t)$. Если разность положительна $\dot{Fl}_i^{\Sigma}(t) > 0$, то запас $St_i(t)$ растет, иначе – запас уменьшается. Сальдо потоков $\dot{Fl}_i^{\Sigma}(t)$, в свою очередь, зависит от динамических свойств агента t , таких, например, как инерционность, запаздывание в принятии решений, которые приводят к рассинхронизации темпов движения потоков и способствуют отдалению системы от состояния равновесия.

Обратное воздействие объема запаса как информационного сигнала на темпы потоков представлено с помощью управления $U(t)$. Формирование управляющих воздействий $U(t)$ основано не только на анализе пропорций между потоками, но и на анализе типовых ситуаций, определяемых соотношениями между потоками и запасами ресурсов. Управляющие воздействия заключаются, во-первых, в определении корректировок темпов движения

выходных потоков $\{\Delta \dot{Out}_{ij}(t)\}$ по расходу ресурсов и, во-вторых, в выборе времени принятия решения t_U по их корректировке. Выбор времени t_U приобретает особое значение, так как правильный выбор определяет будущий размер накоплений (запаса), который, в свою очередь, является решающей информацией при корректировке финансовых потоков. Оперативное и опережающее реагирование «рационального» агента на изменяющуюся ситуацию позволяет сэкономить время и раньше скорректировать темп в нужном направлении. Своевременность принятия решения способствует тем самым либо компенсации потерь запасов в ухудшающихся условиях, либо увеличению будущих запасов в благоприятных условиях при поддержании требуемых темпов функционирования МЭС в целом.

Выводы

Таким образом, предложена концепция исследования и системного моделирования воспроизводственного процесса многосекторной МЭС, которая основана на интеграции системного, динамического, структурного, функционального и других общенаучных подходов, применение которых позволяет:

- последовательно выполнить различные способы декомпозиции МЭС вначале – путем выделения концептов в виде макроэкономических агентов и построения когнитивной модели МЭС с замкнутыми по финансовым потокам контурами; а затем – путем выделения функциональных процессов, выполняемых секторами МЭС, и построения функциональной схемы и динамических моделей МЭС;
- сформулировать и исследовать особенности динамически неравновесных режимов протекания управляемых воспроизводственных процессов МЭС в условиях неопределенности с учетом взаимовлияния потоков и запасов;
- проводить анализ динамики поведения МЭС с помощью взаимосвязанного изменения во времени темпов финансовых потоков, объемов ограниченных запасов ресурсов и управляющих воздействий с учетом времени принятия решений;
- исследовать закономерности развития неравновесных ситуаций функционирования МЭС во времени при различных сценариях регулирования воспроизводственного процесса МЭС.

Список литературы:

1. Прогноз и моделирование кризисов и мировой динамики / Отв. ред. А.А. Акаев, А.В. Коротаев, Г.Г. Малинецкий. – М.: Издательство ЛКИ, 2010. – 352 с.
2. Интеллектуальная информационная система поддержки процедур управления воспроизводственным процессом / Б. Г. Ильясов, Е. А. Макарова, А. Н. Павлова // Программные продукты и системы. 2010. № 1. С. 88–90.
3. Моделирование динамики кругооборота финансовых потоков с учетом накопления финансовых ресурсов

- / Б. Г. Ильясов, И. В. Дегтярева, Е. А. Макарова, Э. Р. Габдуллина // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. № 1. С. 28–38.
4. Моделирование динамики кругооборота финансовых потоков с учетом накопления финансовых ресурсов / Б. Г. Ильясов, И. В. Дегтярева, Е. А. Макарова, Э. Р. Габдуллина // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2009. № 1. С. 28–38.
5. Методология динамического моделирования неравновесных процессов макроэкономического кругооборота с учетом запасов секторов / Б. Г. Ильясов, И. В. Дегтярева, Е. А. Макарова, А. Н. Павлова // От идеи академика С.С. Шаталина о системных подходах к саморазвивающимся социально-экономическим системам : Труды Всероссийской конф. с междунар. участием. Екатеринбург : Институт экономики УрО РАН, 2009. Т. 1. С. 51–55.
6. Регулирование неравновесных процессов макроэкономического кругооборота финансовых потоков / Б. Г. Ильясов, И. В. Дегтярева, Е. А. Макарова, А. Н. Павлова // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2010. № 1. С. 120–128.

¹ Концепция системного моделирования процессов кругооборота денежных потоков / Б. Г. Ильясов, И. В. Дегтярева, Е. А. Макарова, Э. Р. Габдуллина // Труды X Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». – Самара: Изд-во Самарского НЦ РАН, 2008. С. 153–160.