

3. Dubrova E. Fault Tolerant Design: An Introduction / Dubrova E. ; Department of Microelectronics and Information Technology, Royal Institute of Technology. – Stockholm, Sweden, 2008. – 147 p.

4. Кузнецов А. С. Многоэтапный анализ архитектурной надежности и синтез отказоустойчивости программного обеспечения сложных систем / Кузнецов А. С., Ченцов С. В., Царев Р. Ю. ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Сиб. федерал. ун-т. – Красноярск : СФУ, 2013. – 142 с.



УДК 004.942:332.1

**А. В. Прохоров**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных управляющих систем Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”

**А. О. Матюшко**, аспирант кафедры информационных управляющих систем Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”

#### **АГЕНТНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА СЦЕНАРИЕВ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ**

*Проведен анализ особенностей управления региональным развитием, существующих подходов и методов моделирования и принятия решений в региональном управлении. Предложена схема агентной модели региона с учетом основных секторов экономики и функционирования рынков сырья, финансовых и трудовых ресурсов. Описаны параметры и особенности поведения агентов модели. Рассмотрены особенности информационного взаимодействия агентов модели в условиях динамики внешней среды. Рассмотрены сценарии управления региональными ресурсами с учетом корректирования плановых темпов их расхода и накопления.*

*Ключевые слова: регион; ресурсы; ресурсный потенциал региона; агентная модель; региональное развитие.*

*The paper analyzes the features of the management of regional development and existing approaches and methods of modeling and decision-making processes in the regional management. A scheme of agent based model of the region taking into account main sectors of the economy and the functioning of commodity markets, financial and human resources is proposed. It describes the parameters and features of behavior of the model agents. The features of the information interaction of model agents in the dynamic external environment are considered. Regional management scenarios, taking into account the planned correction of the rate of consumption and accumulation are presented.*

*Key words: region; resource; resource potential of the region; agent model; regional development.*

© А. В. Прохоров, А. О. Матюшко, 2015

---

**Постановка проблемы.** В условиях реорганизации структуры местного самоуправления в Украине, включающих децентрализацию бюджета и системы публичных услуг (административных, социальных и коммунальных), а также расширение прав территориальных общин (городов, сел), актуализируются вопросы разработки эффективных методов управления процессом сбалансированного развития, а также формирования планов рационального использования регионального ресурсного потенциала в разрезе всех его составляющих.

Неэффективное управление и нерациональное использование региональных ресурсов, отсутствие эффективных механизмов корректирующих воздействий обосновывают необходимость решения задачи повышения эффективности местного и регионального развития в контексте государственной региональной политики, бюджетной, налоговой и муниципальной реформ.

Одним из направлений исследований в этой области является моделирование, прогнозирование и анализ сценариев развития региональной экономики, а также создание инструментальных средств поддержки принятия управленческих решений. При этом гетерогенность, специфичность и распределенность ресурсного потенциала региона, а также значительное влияние темпов и объемов использования ресурсов на эффективность функционирования производственно-экономической системы в целом обуславливают необходимость комплексного системного подхода к решению проблемы эффективного планирования процессов накопления и использования региональных ресурсов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Проведенный анализ процессов регионального управления и развития [1–3] позволил выделить основные особенности региона как макроэкономической системы:

- многомерность, связанная с наличием большого числа участников с локальными целями;
- иерархический многоуровневый характер;
- многоконтурность управления;
- многоцелевой, динамичный и вероятностный характер функционирования;
- эмерджентность, то есть наличие интегративных свойств, присущих системе в целом, но не свойственных ни одному из отдельных элементов.

Исходя из вышеперечисленных особенностей, можно сделать вывод, что регион принадлежит к классу сложных социально-экономических систем с высокой динамикой внутренних процессов и неопределенностью внешней среды, обладающих целым рядом особенностей, влияющих на выбор и обоснование методов их исследования.

Среди методов исследования и анализа процессов регионального управления и принятия решений в области регионального развития можно выделить модели экономического равновесия; методы аналитического и имитационного моделирования; методы интеллектуальных информационных технологий и др.

Одним из подходов, активно используемым в настоящее время за рубежом в решении широкого круга задач государственного регулирования экономики, является применение вычислимых моделей общего равновесия, известных как Computable General Equilibrium models (CGE models) [4]. При этом данный класс моделей имеет свои недостатки в виде сложности математического аппарата и обязательного этапа калибровки, а также невозможности внесения дополнительных корректировок в ходе процесса моделирования.

---

В исследовании [5] описано использование еще одного класса моделей, относящегося к классу моделей экономического равновесия, – макроструктурных моделей, которые представляют собой формализованную экономико-математическую систему описания воспроизводственного процесса в целом и в разрезе основных структурных элементов экономики. Данная модель строится как задача линейного программирования и включает в себя систему уравнений и неравенств, характеризующих основные функциональные взаимосвязи экономики. При этом сложность формализации динамической региональной системы, а также многоконтурность и многоцелевой характер политик регионального управления затрудняют применение данного класса моделей.

Самым мощным и перспективным на сегодняшний день инструментом анализа сложных динамических потоковых процессов в условиях большого числа переменных, трудоемкости математического анализа зависимостей, высокого уровня неопределенности исследуемых ситуаций являются методы и средства имитационного моделирования. В настоящее время сформировано и широко применяются три основных подхода: дискретно-событийное моделирование, модели системной динамики и агентное моделирование.

Показавшими свою эффективность на практике при изучении макроэкономических систем являются модели системной динамики. В работе [6] предлагается комплекс имитационных моделей системной динамики социально-экономического развития региона. Тем не менее данный вид имитационного моделирования в большей степени направлен на выявление существенных параметров и взаимосвязей между ними, но при этом не учитываются качественные изменения в системе, что лишает модель адаптивности.

В условиях динамичности и неопределенности процессов управления ресурсным потенциалом региона наиболее перспективным направлением является использование агентной парадигмы имитационного моделирования. Мультиагентная система – это искусственное сообщество, которое способно имитировать поведение макроэкономической системы на основе реконструкции ее внутренней структуры, а также структуры и поведения включенных в нее более мелких экономических агентов. Благодаря своей автономности и способности к самоорганизации агентная модель способна отражать динамику изменения социально-экономических характеристик системы как результат действий и взаимодействий множества автономных агентов с типовым поведением.

Кроме того, следует учитывать, что задача координирования использования региональных ресурсов является задачей высшего уровня управления и включает в себя процессы мониторинга, диагностики и планирования ресурсного потенциала. Использование агентных технологий для задач анализа социально-экономического развития регионов дает возможность обеспечить автономность, интеллектуальность, масштабируемость и адаптивность имитационных моделей управления региональными ресурсами.

Рассмотрена также агентная динамическая модель управления фирмой или банком [7]. В основу модели положен принцип межвременного равновесия, то есть соответствия прогнозных и фактических изменений экономической конъюнктуры. При этом анализ основывается только на протекании финансовых потоков, не учитывая информационные и материальные взаимодействия между агентами.

На понятии макроэкономического равновесия также базируется имитационная модель, когнитивная схема которой рассмотрена в работе [8]. Основной упор сделан в сторону кругооборота финансовых потоков между макроэкономическими агентами и

---

рынком трудовых ресурсов. Модель позволяет исследовать динамику взаимосвязанного изменения уровней цен и заработной платы, которые являются главными индикаторами качества жизни в регионе.

Значительная часть исследований в области управления региональным развитием рассматривает задачи планирования территориального размещения различных объектов. В [9] рассматриваются вопросы агентно-ориентированного моделирования функционирования и пространственного размещения домохозяйств и фирм. Модель описывает мультисырьевые рынки земли и труда в системе муниципального управления и поведение указанных субъектов в целях максимизации прибыли и уменьшения транспортных расходов.

Достаточно много исследований касается моделирования динамики управления земельными ресурсами и землепользования – land use/cover change (LUCC). В работе [10] рассматриваются вопросы моделирования и принятия решений в области землепользования и выбора стратегии регионального развития. Однако акцент сделан в сторону выявления различных типов агентов и их параметризации на основании эмпирических исследований.

Для решения задач мониторинга, оперативного и стратегического планирования, прогнозирования и принятия эффективных управленческих решений на базе Управления по вопросам коммунальной собственности областного совета в Харьковской области была создана “Теоинформационная система мониторинга региональных ресурсов и информационно-аналитического сопровождения управленческих решений” (ГИСМР) [11], которая находится в настоящее время в эксплуатации. В основу ГИСМР была положена предлагаемая в работе агентная модель.

**Цель статьи.** Проведенный анализ показал, что для формирования эффективной системы управления региональным развитием необходим комплексный подход. Следовательно, разработка и применение новых методов и моделей управления всеми типами региональных ресурсов с учетом состояния внешней макроэкономической системы, с одной стороны, и государственных планов регионального развития, с другой, является актуальной и важной задачей. Исходя из этого, цель статьи – создание агентной модели анализа процессов управления региональными ресурсами с учетом основных секторов экономики и рынков, таких как: продукции и услуг, труда, финансов и природных ресурсов.

**Изложение основного материала.** Построена функциональная схема агентной модели региона (рис. 1), на которой выделены следующие подмодели: предприятия ( $M_E$ ), домохозяйства ( $M_H$ ), бюджетной организации ( $M_B$ ), государства ( $M_G$ ), а также рынков продукции и услуг ( $M_{PR}$ ), труда ( $M_{LAB}$ ), финансов ( $M_F$ ) и природных ресурсов ( $M_{NR}$ ).

Модель  $M_E$  описывает параметры и поведение агента предприятия, множество которых представляет производственный сектор экономики. Цель агента предприятия – максимизация получаемой прибыли, что не исключает возможности реализации иных целей. Агент, играя роль производителя, преобразует ресурсы в производственном процессе в незавершенное производство и готовую продукцию с темпом  $P$ , учитывая планируемые расходы для производства  $P^0$ , потребности в трудовых  $Ld_E$  и природных ресурсах  $NR_E$ .

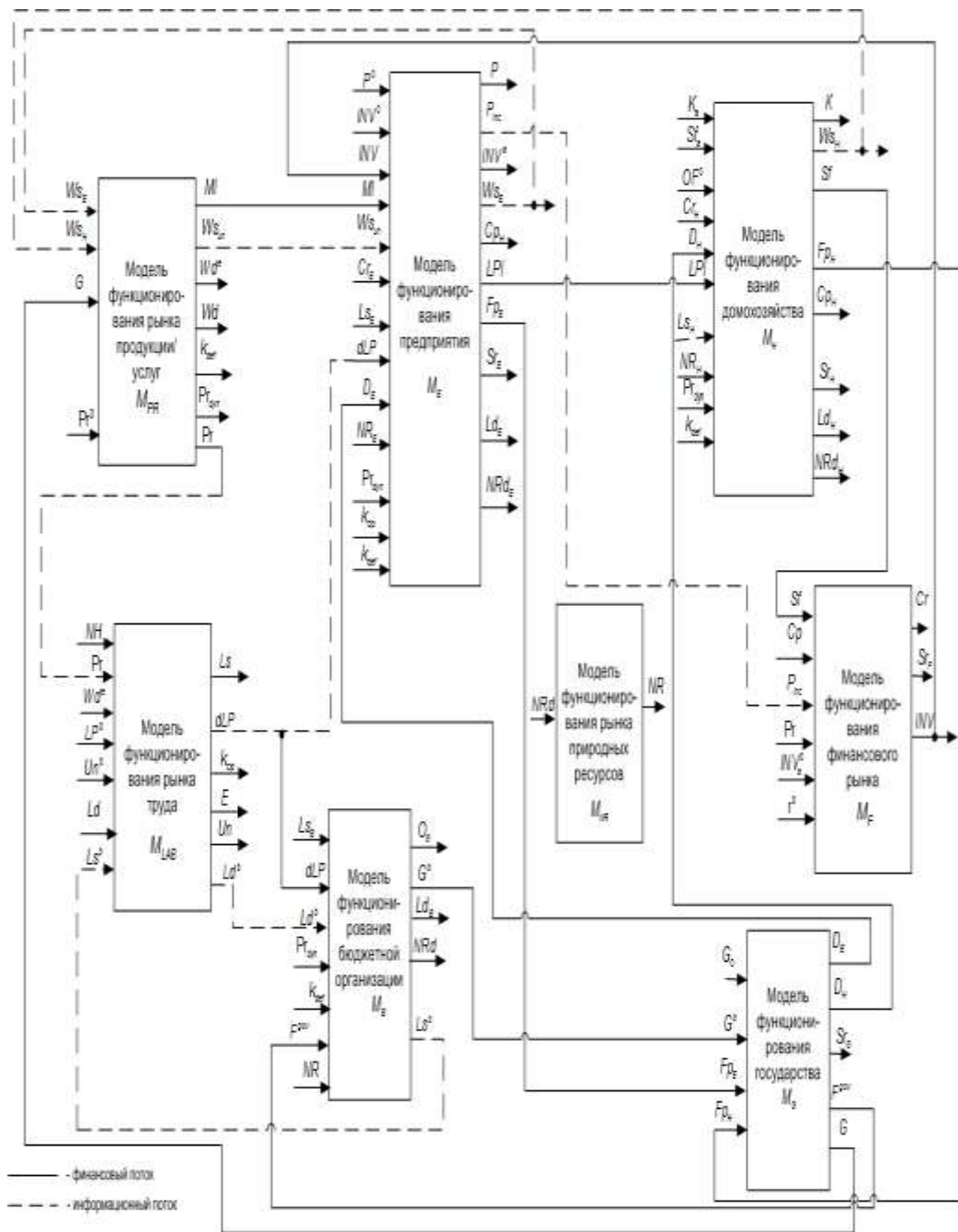


Рис. 1. Функциональная схема агентной модели региона

---

В ходе своего функционирования в роли агента размещения агент предприятия может продавать продукцию на соответствующих рынках, формируя предложение  $Ws_E$ , осуществлять экспорт продукции в другие регионы, а также накапливать ресурсы в объеме  $Sr_E$ . Доходы агента предприятия формируются в разрезе трех видов деятельности – операционной, инвестиционной, финансовой – и включают: получение производственным сектором доходов в объеме  $P_{inc}$ , получение доходов в результате торговли на рынке товаров и услуг с темпом  $MI$ , использование собственных инвестиционных средств с темпом  $INV^0$  и заемных средств с темпом  $INV$ , получение дотаций от государства в размере  $D_E$ , заемных средств в размере  $Cr_E$ . Расходную часть образуют: средства, потраченные на выплату заработной платы в объеме  $LPI$ ; налоговые отчисления в размере  $Fp_E$ ; формирование текущих инвестиционных расходов  $INV^a$ ; затраты на пополнение запасов товаров и сырья с темпом  $RS_E$ ; выплаты по кредитным займам в соответствии с установленным регламентом в объеме  $Cr_E$ . Плановые темпы производства в секторе предприятий зависят от динамической составляющей цены  $Pr_{dyn}$  и относительной величины роста ставки заработной платы  $dLP$ . Модель агента предприятия предусматривает возможность дополнительной корректировки темпов производства при изменении основных рыночных индикаторов, таких как номинальная цена, ставка рефинансирования, темп инфляции и т. д. при помощи коэффициента  $k_{clp}$ .

Следует также отметить, что каждое производственное предприятие  $E_i$  характеризуется своей специализацией  $Sp_j$ , которая определяется при создании агентов производственных предприятий и не изменяется в ходе моделирования.

Для описания особенностей функционирования сектора домохозяйств введена модель  $M_H$ . Агент домохозяйства  $H_i$  представляет собой субъект экономики региона, который состоит из одного ведущего самостоятельного хозяйства индивида или, чаще, группы людей, живущих совместно и ведущих общее хозяйство, чаще семей, обеспечивая также воспроизводство человеческого капитала. Каждое домохозяйство характеризуется вектором:  $H_i = \langle Sp, T \rangle$ , где  $Sp$  – это специализация домохозяйства, определяющая производимую продукцию, а  $T$  – это тип домохозяйства по численности участников. Выступая в роли агентов размещения и владея экономическими ресурсами (трудовыми и природными со спросом на них в размере  $Ld_H$  и  $NRd_H$  соответственно), они являются продавцами на рынке данных ресурсов, получая денежные и иные доходы, используемые в дальнейшем для приобретения товаров и услуг, а также для накопления запасов ресурсов  $Sr_H$ . Одновременно с этим, являясь агентом привлечения, домохозяйства формируют предложение  $Ws_H$  на рынке товаров и услуг, которые производят с темпом  $K$ . Целью функционирования данного агента является повышение качества и уровня жизни. Источниками дохода агентов домохозяйств являются: стартовый капитал  $OF^0$ ; заработная плата  $LPI$ ; дотации и трансферты со стороны государства в размере  $D_H$ ; привлеченные кредитные ресурсы  $Cr_H$ . Полученные денежные доходы используются агентом на выплату налогов в размере  $Fp_H$ , осуществление обязательных платежей и добровольных взносов, погашение задолженности по кредитам  $Cr_H$  и создание сбережений во вкладах и ценных бумагах с темпом  $Sf$ . Планы по формированию расходов вычисляются на основе плановых темпов: автономного потребления  $K_a$  и автономных сбережений для сектора домохозяйств  $Sf_a$ . Дополнительно в модель введен коэффициент  $k_{def}$  для корректирования планов формирования расходов на основе информации о динамической составляющей цены  $Pr_{dyn}$ .

---

Сектор государственного управления представлен агентами бюджетных организаций  $B_b$ , которые полностью содержатся за счет государственного либо местных бюджетов и являются неприбыльными. Для описания их параметров и функционирования используется модель  $M_B$ . Бюджетные организации являются главными производителями услуг региона. Агенты бюджетных организаций, имея потребность в трудовых ресурсах для функционирования, формируют спрос на трудовые ресурсы  $Ld_B$ , с одной стороны, и обеспечивают предложение  $Ls^b$  квалифицированных кадров на рынок труда – с другой. Рынок труда, в свою очередь, формирует спрос на квалифицированные кадры  $Ld^p$ , которым руководствуются агенты бюджетных организаций при подготовке новых квалифицированных кадров. Доходами бюджетных организаций являются государственные средства в объеме  $F^{gov}$ . Бюджетные организации, как домохозяйства и предприятия, характеризуются темпом потребления природных ресурсов  $NR_B$ , который обуславливает спрос на природные ресурсы  $NRd_B$ . Результатом функционирования бюджетных организаций является предоставление государственных услуг в объеме  $O_G$ , а также темп удовлетворения определенной части госзакупок  $G_b$ . Как и для других типов макроэкономических образований, для бюджетных организаций характерна корректировка фактических темпов расходов на предоставление услуг с помощью коэффициента  $k_{def}$  на основе информации о динамической составляющей цены  $Pr_{dyn}$ .

Модель  $M_F$  описывает параметры и принципы функционирования финансового рынка. Доходной частью этого рынка являются: сбережения  $Sf$ , доход производственного сектора  $P_{inc}$ , выплаты по кредитным займам  $Cr$ . Расходную часть составляют инвестиции  $INV$ , объем которых формируется с учетом информации о планируемых автономных инвестициях  $INV_a^0$ , кредиты предприятиям и домохозяйствам в объеме  $Cr$ . Модель  $M_F$ , как и все вышеописанные модели, характеризуется объемом накопленных запасов ресурсов  $SrF$ . Особенностью функционирования этой модели является учет влияния текущего уровня цен  $Pr$  и текущей процентной ставки  $r^0$  при формировании предложения инвестиций  $INV$ .

Государство описывается соответствующим агентом метауровня, модель функционирования которого на схеме обозначена  $M_G$ . Агент государства получает доходы в виде налогов от производственного сектора  $Fp_E$  и домохозяйств  $Fp_H$ , а также частичное покрытие общего объема госзакупок в размере  $G^b$ . Расходная часть агента государства состоит из общего объема средств, выделенных для госзакупок  $G$ , дотаций предприятиям  $D_E$  и домохозяйствам  $D_H$ . В процессе своего функционирования агент государства накапливает ресурсы в объеме  $Sr_G$ .

Модель  $M_{PR}$  описывает процесс функционирования рынка продукции и услуг. На этом рынке происходит формирование текущего уровня цен  $P_r$  как суммы статической  $P_r^0$  и динамической  $Pr_{dyn}$  составляющих; вычисление корректирующего коэффициента  $k_{def}$  необходимого для определения фактических расходов на потребление; формирование спроса на продукцию и услуги  $Wd$ . Доходной частью этой модели являются: темпы производства  $P$  от агентов предприятий и  $K$  от домохозяйств, а также объем госзакупок  $G$ . На рынке продукции и услуг, на основании входных данных, определяется размер эффективного спроса  $Wd^e$ , необходимый для определения спроса на труд  $Ld$ . Под эффективным спросом будем понимать тот размер спроса, при котором модель функционирует в равновесном режиме, то есть отсутствуют ситуации дефицита и перепроизводства.

---

Модель рынка труда  $M_{LAB}$  предназначена для формирования текущего уровня занятости  $E$ , уровня безработицы  $Un$ , а также для вычисления значения корректирующего коэффициента  $k_{clp}$  и определения изменения ставки заработной платы  $dLP$ . Входными параметрами функционирования модели являются численность экономически активного населения региона  $NH$ , уровень цен  $P_r$ , темп эффективного спроса  $Wd^e$  на труд. Предложение труда определяется следующим образом:

$$Ls = \langle Ls_E, Ls_H, Ls_B \rangle,$$

где  $Ls_E, Ls_H, Ls_B$  – предложение труда, сформированное агентами предприятий, домохозяйств и бюджетных организаций соответственно. Спрос на труд может быть представлен в виде

$$Ld = \langle Ld_E, Ld_H, Ld_B \rangle,$$

где  $Ld_E, Ld_H, Ld_B$  – спрос на труд, сформированный агентами предприятий, домохозяйств и бюджетных организаций соответственно. На этом этапе значение темпа эффективного спроса необходимо для определения предполагаемой потребности в труде с учетом тенденций изменения рынка продукции и услуг. Также для функционирования модели рынка труда необходимой является информация о начальном уровне ставки заработной платы  $LP^0$  и уровне естественной безработицы  $Un^0$ .

Модель рынка природных ресурсов  $M_{NR}$  отражает динамику использования природных ресурсов всеми участниками воспроизводственного процесса региона. Совокупный спрос на природные ресурсы можно представить в виде

$$NRd = \langle NRd_E, NRd_H, NRd_B \rangle,$$

где  $NRd_E$  – спрос производственных предприятий на природные ресурсы,  $NRd_H$  – спрос домохозяйств на природные ресурсы и  $NRd_B$  – спрос бюджетных организаций. Аналогичным образом формируется поток использования природных ресурсов  $NR = \langle NR_E, NR_H, NR_B \rangle$ .

Анализ существующих исследований в области управления региональными ресурсами показал, что требуется комплексный подход при формировании эффективной системы управления региональным развитием, который направлен на подбор объема, стоимости и времени привлечения одних ресурсов под соответствующие параметры других, а также на обеспечение плановых темпов расхода и накопления ресурсов во всех секторах экономики региона.

В рамках представленной модели управление региональными ресурсами осуществляется на трех уровнях: стратегическом, тактическом и оперативном.

На оперативном уровне происходит мониторинг привлечения и размещения ресурсов, оценка полноты ресурсной базы региона, а также выявление ситуаций дефицита.

Тактический уровень необходим для оценки эффективности ресурсного потенциала региона и анализа эффективности реализуемых стратегий регионального развития. На этом уровне происходит формирование вектора управляющих воздействий для отдельных секторов региональной экономики – производственного, сектора домохозяйств, сектора бюджетных организаций, финансовых учреждений. При этом следует отметить, что формирование управляющих воздействий по вышеперечисленным кон-



---

турам (секторам) управления представляет собой управление всеми составляющими ресурсного потенциала региона. В каждом из этих контуров управления предполагается наличие обратной связи для корректировки на интервале времени  $\Delta t_i^0$  плановых темпов расхода ресурсов:

$$R_i^0(t) = \langle R_i^f(t), R_i^l(t), R_i^{np}(t), R_i^p(t) \rangle,$$

где  $R_i^f(t), R_i^l(t), R_i^{np}(t), R_i^p(t)$  – темпы расхода финансовых, трудовых, природных и производственных ресурсов каждого сектора соответственно  $i \in \langle E, H, B, F \rangle$ . Принятие решения для каждого сектора происходит при условии учета накопленных запасов финансовых, трудовых, природных, производственных ресурсов на текущем шаге моделирования  $Sr_i(t) = \langle Sr_i^f(t), Sr_i^l(t), Sr_i^{np}(t), Sr_i^p(t) \rangle$ , а также страховых запасов  $\delta_i(t) = \langle \delta_i^f(t), \delta_i^l(t), \delta_i^{np}(t), \delta_i^p(t) \rangle$ . На этом уровне корректировка осуществляется уменьшением темпов расходов ресурсов отдельным сектором с возможным последующим его увеличением до планового уровня.

Таким образом, на тактическом уровне осуществляется обеспечение гибкой корректировки темпов расхода и накопления ресурсов в пределах исходного плана, которым характеризуется стратегия регионального развития. Разработка самих планов накопления и расхода ресурсов в рамках реализации тех или иных государственных политик управления регионом подразумевает учет большого количества как внешних, так и внутренних факторов, влияющих на функционирование макроэкономической системы, и происходит на более высоком уровне управления.

Верхний, стратегический, уровень управления обеспечивает формирование вектора управляющих воздействий для каждого сектора региональной экономики  $Y(t) = \langle Y_E(t), Y_H(t), Y_B(t), Y_F(t) \rangle$ . Он включает в себя корректировки по различным параметрам, таким как темпы потребления и накопления ресурсов, выпуска продукции и услуг, инвестиционных расходов. Корректировка параметров государственного сектора происходит в рамках реализации налогово-бюджетной политики. Необходимо отдельно выделить вектор управляющих воздействий  $Y_0(t)$  на макроэкономические регуляторы, такие как номинальная ставка заработной платы, ставка рефинансирования и другие, которые характеризуют текущее состояние экономики страны и региона.

**Выводы из данного исследования и перспективы дальнейших исследований в данном направлении.** Таким образом, предложена агентная модель макроэкономической системы региона, описаны особенности функционирования и характер взаимодействия агентов с учетом множества взаимосвязанных ресурсных потоков, требований, целей и стратегий поведения отдельных макроэкономических агентов. Учтено влияние макроэкономических рынков, а также описан характер взаимодействия между рынками и основными секторами экономики региона. Описаны сценарии управления региональными ресурсами с учетом корректирования плановых темпов их расхода и накопления.

Разработанная модель предоставляет эффективные механизмы для решения различных аналитических и планово-прогнозных задач: анализ основных социально-экономических показателей регионального развития в различных разрезах, прогноз состояния при различных вариантах привлечения и размещения ресурсов, мониторинг с оперативным выявлением нарушений и дальнейшим моделированием различных балансирующих механизмов и др.

---

Данный подход может быть использован органами регионального управления в своей практической деятельности с целью анализа текущей ситуации, выявления существенных факторов, повышения эффективности управленческих решений и точности прогнозирования развития региона.

Отличительной особенностью мультиагентного подхода к рассматриваемым задачам является то, что построенная в итоге агентная модель позволяет осуществлять анализ и управление региональными ресурсами в режиме реального времени. В отличие от большинства подходов, где создается некая виртуальная среда, в которую помещается модель объекта, и проводятся многочисленные эксперименты, здесь агенты модели запускаются и работают в режиме реального времени в среде объекта управления. При этом агенты обеспечивают автоматическое реагирование на информацию, поступающую от объекта управления, могут инициировать запуск моделирующих, логико-аналитических, расчетных задач и принятие решений.

#### **Список использованных источников:**

1. Гаврилов А. И. Региональная экономика и управление : учебное пособие для вузов / Гаврилов А. И. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 239 с.
2. Романюк С. А. Політика регіонального розвитку в Україні: сучасний стан і нові можливості: Регіональні дослідження : монографія / С. А. Романюк. – К. : УАДУ, 2011. – 112 с.
3. Экономический потенциал региона: анализ, оценка, диагностика : монография / А. Н. Тищенко, И. А. Кизим, А. И. Кубах, Е. В. Давыскиба. – Х. : ИНЖЕК, 2005. – 176 с.
4. Макаров В. Л. Применение вычислимых моделей в государственном управлении / Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сулакшин С. С. – М. : Научный эксперт, 2007. – 304 с.
5. Клоцвог Ф. Н. Макроструктурные модели – инструмент народнохозяйственного прогнозирования / Ф. Н. Клоцвог, В. А. Костин // Проблемы прогнозирования. – 2004. – № 6. – С. 17–27.
6. Лычкина Н. Н. Имитационное моделирование социально-экономического развития регионов / Н. Н. Лычкина // Имитационное моделирование. Теория и практика : сборник докладов Первой всероссийской научно-практической конференции ИММОД-2003. Т. 2. – СПб. : ЦНИИТС, 2003. – С. 79–83.
7. Поспелов И. Г. Модели экономической динамики, основанные на равновесии прогнозов экономических агентов / Поспелов И. Г. – М. : Изд-во ВЦ РАН, 2003. – 200 с.
8. Моделирование влияния неравновесных условий рынка труда на динамику макроэкономического кругооборота / Б. Г. Ильясов, И. В. Дегтярева, Е. А. Макарова, А. Н. Павлова // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : труды XII Международной конференции. – Самара : Самарский научный центр РАН, 2010. – С. 176–186.
9. Valbuena D. A method to define a typology for agent-based analysis in regional land-use research / D. Valbuena, P. H. Verburg, A. K. Bregt // Agriculture, Ecosystems and Environment. – 2008. – P. 27–36.
10. Tsekeris T. Spatial agent-based modeling of household and firm location with endogenous transport costs / T. Tsekeris, K. Vogiatzoglou // Netnomics. – 2011. – P. 1–22.
11. Геоинформационная система мониторинга региональных ресурсов и информационно-аналитического сопровождения управленческих решений / И. В. Шишко, М. П. Бурьянова, А. В. Прохоров и др. // Научно-технічний журнал “Радіоелектронні і комп’ютерні системи”. – 2016. – № 1 (75). – С. 105–113.