

ДИСКУСИОННИ МАТЕРИАЛИ

DP/92/2013

Многоагентни системи и приложенията им в макроикономическото и финансовото моделиране

Андрей Василев

Георги Деянов

Свилен Пачеджиев



БЪЛГАРСКА
НАРОДНА
БАНКА



БЪЛГАРСКА
НАРОДНА
БАНКА

Многоагентни системи и приложенията им в макроикономическото и финансовото моделиране

**Андрей Василев
Георги Деянов
Свилен Пачеджиев**

Декември 2013 г.

ДИСКУСИОННИ МАТЕРИАЛИ

Редакционен съвет

Председател: Стати Статев

Членове: Калин Христов

Цветан Манчев

Мариела Ненова

Павлина Аначкова

Андрей Василев

Даниела Минкова

Секретар: Людмила Димова

© Българска народна банка, 2013

ISBN: 978-954-8579-52-0

Отпечатано в Полиграфична база на БНБ.

Материалите отразяват гледищата на своите автори
и не ангажират позицията на БНБ.

Художественото оформление на корицата е разработено
въз основа на банкнотата с номинал 50 лева, емисия 1999 г.

Мненията си изпращайте до:

Отдел „Печатни издания“

Българска народна банка

пл. „Княз Александър I“ № 1

1000 София

Тел.: (+359 2) 9145 1906, 9145 1271

e-mail: Dimova.L@bnb.org

Интернет страница: www.bnb.bg

Съдържание

Въведение	5
Агентно-базирана изчислителна икономика и многоагентни системи	7
Същност на агентно-базираната изчислителна икономика	7
Реализация на многоагентни модели	9
Изисквания към многоагентните системи	11
Недостатъци на агентно-базираната изчислител- на икономика	12
Технически аспекти на разработването на многоагентни системи	13
Конструиране и техническо описание	13
Софтуерни платформи	15
Необходима квалификация на екипа, разработващ многоагентна система	18
Приложения на многоагентните системи	20
Макроикономически модели, изследващи връзката между финансовия и нефинансовия сектор	21
Други многоагентни макроикономически модели ...	28
Приложения на многоагентните системи, разглеждащи въпроси от областта на финансите	31
Заклучение	34
Литература	36

РЕЗЮМЕ: В настоящата разработка са представени методологията и принципите за разработване на многоагентни системи – компютърни модели на взаимодействия между множество автономни субекти – с акцент върху използването им в икономиката и финансите. Описани са характеристиките на многоагентните системи, които ги правят особено подходящи за моделиране на ситуации с хетерогенни типове агенти и нестандартни микроикономически характеристики на участниците и взаимодействията между тях. Разгледани са необходимите условия за успешно използване на модели, базирани на многоагентни системи, и са дискутирани основните недостатъци на многоагентните системи. Направен е преглед на избрани приложения на многоагентните системи в макроикономиката и финансите с оглед на възможностите за използване на резултатите им при формулирането и провеждането на макроикономическа политика. Разгледани са и някои технически аспекти на разработването на многоагентни системи, като възможни софтуерни платформи за реализацията им и необходимата квалификация на екипа специалисти, разработващ многоагентна система.

JEL: B4, C6, C8, C9, E2, E3, E5, G1, G2

Ключови думи: многоагентни системи, агентно-базирана изчислителна икономика, симулационни модели в макроикономиката и финансите

Авторите изказват благодарност на Зорница Владова, Марина Дякова, Йордан Йорданов, Даниела Минкова, Георги Момчилов, Мариела Ненова, Георги Прангов и Калин Христов за ценните дискусии и коментари по разработката.

Андрей Василев, дирекция „Икономически изследвания и прогнози“, Българска народна банка, Vassilev.A@bnbank.org

Георги Деянов, дирекция „Икономически изследвания и прогнози“, Българска народна банка, Deyanov.G@bnbank.org

Свилен Пачеджиев, дирекция „Икономически изследвания и прогнози“, Българска народна банка, Pachadjiev.S@bnbank.org

Въведение

С настъпването на глобалната икономическа и финансова криза през 2008 г. се засилиха критиките към използваните от съвременната икономическа наука методология, инструментариум и подходи за анализ. Някои автори като *Colander et al.* (2009) смятат, че икономиката се е провалила като наука, тъй като не е успяла да предвиди кризата, и отдават това на фактори, като използването на модели с представителен агент и рационални очаквания, което ограничава възможностите на анализа. Във връзка с това се наблюдават все по-активни опити за преосмисляне на идеите и методологията на икономическата наука, както и нарастващ интерес към алтернативни подходи за анализ.

Вниманието към алтернативните методи за анализ беше засилено и от критиките, отправяни през последните години към превърналия се в стандарт за макроикономически анализи подход на динамичните стохастични модели на общо равновесие. Тези критики са обобщени от *Colander et al.* (2008), които на тази основа препоръчват използването на модели с по-реалистична структура, включващи хетерогенни агенти, статистическа динамика, без равновесие или с много равновесни състояния и ендогенно обучаващи се субекти¹.

Отправените от *Colander et al.* (2008) препоръки по принцип се споделят от широк кръг икономисти, но възможностите за тяхната практическа реализация са ограничени, когато се използва стандартен подход за анализ от типа *формулиране на математически модел – намиране на решение – симулиране на решението на компютър*. Съвременният математически инструментариум все още не е в състояние да предложи решения на достатъчно богат набор от задачи с посочените по-горе характеристики. Подобен проблем не е характерен само за икономиката (макар да е особено силно изразен при икономически задачи) и това е довело до специфична еволюция на използваните методологии за анализ. Хронологически науката се е движила от чисто емпиричен подход (наблюдения, експерименти) през теоретичен (използване на математически модели, опити за обобщения) към изчислителен подход (използване на компютри за симулации) до набиращата популярност методология на „изследване

¹ Вж. още Fagiolo and Roventini (2012) за алтернативен критичен поглед върху състоянието на съвременната макроикономика.

на данните“ (*data exploration*)²). При последната методология много големи обеми данни се регистрират (напр. от сензори, интернет) или генерират чрез симулации, обработват се и се структурират по подходящ начин в бази данни, а впоследствие се анализират чрез статистически или други методи. Подобен подход позволява да бъдат преодолени ограниченията на стандартните аналитични методи чрез гъвкаво използване на предимствата на съвременните информационни технологии.

Един възможен вариант за постигане на по-голяма гъвкавост на икономическите модели при прилагане на така описаната методология на „изследване на данните“ е чрез използването на т.нар. многоагентни системи – софтуерни среди за симулация, базирани на моделиране на поведението на голям брой самостоятелни агенти³. Прилагането на многоагентни системи за решаване на различни приложни задачи се нарича многоагентно моделиране, а конкретно приложението им към икономическа проблематика е добило известност в специализираната литература като агентно-базирана изчислителна икономика (АИИ)⁴. Методите на АИИ правят този подход особено подходящ за изследване на процеси, характеризирани се с хетерогенност и нестандартни микроикономически характеристики на участниците, и на взаимодействията между тях. Тези методи дават възможност да се преодолеят някои ограничения на традиционните икономически модели, свързани например с изисквания за наличие на равновесие, използване на представителен агент и допускания за рационалност на икономическите субекти. Многоагентните системи имат разнообразни икономически приложения, вариращи от изследвания на ролята и ефективността на паричната политика до моделиране на „стадно поведение“ на финансовите пазари или кризи на платежните системи.

Настоящата разработка има за цел да направи преглед на АИИ от гледна точка на възможностите за използване на многоагентни системи с цел обогатяване на инструментариума за моделиране, който е на разположение на изследователи и анализатори, занимаващи се с икономическа проблематика. В разработката се

² За повече подробности вж. *Jim Gray on eScience: A Transformed Scientific Method* в Hey et al. (2009)

³ Вж. напр. LeBaron and Tesfatsion (2008).

⁴ Английският термин е *agent-based computational economics*.

разглеждат методологията и избрани икономически приложения в областта на АИИ. В следващия раздел са представени основните идеи и силните страни на АИИ, реализацията им при разработване на конкретни многоагентни системи, както и изискванията към многоагентните системи и основните им недостатъци. Третият раздел прави обзор на избрани икономически приложения на многоагентните системи, подбрани съобразно потенциала за използваемост на резултатите им при формулирането и провеждането на макроикономическа политика, с акцент върху финансовия сектор и банковата система. Приложенията са разделени на три групи: макроикономически модели, изследващи връзката между финансовия и нефинансовия сектор; други многоагентни макроикономически модели, и допълнителни икономически приложения на многоагентните системи. Четвъртият раздел разглежда основни технически аспекти на разработването на многоагентни системи, като представя някои популярни начини за описание на структурата им, избрани софтуерни платформи за реализация на многоагентни системи и необходимата квалификация на екипа специалисти, разработващ такава система. В заключението са обобщени основните изводи от направения преглед в областта на методите на АИИ и тяхното приложение.

Агентно-базирана изчислителна икономика и многоагентни системи

Същност на агентно-базираната изчислителна икономика

АИИ е методология за икономически анализ, която използва компютърни симулации за изследване на икономическите процеси.⁵ Един икономически процес се моделира като динамична система, състояща се от множество взаимодействащи си агенти, всеки от които притежава индивидуални характеристики. Даден агент например може да разполага с различна информация в сравнение с останалите агенти, да оптимизира действията си в собствен времеви хоризонт и да не бъде напълно рационален, а да се учи от

⁵ Обясненията в тази част се базират на Tesfatsion and Judd (2006), с. xi.

грешките си въз основа на индивидуалния си опит. За разлика от стандартната икономическа теория, където идеята за равновесие заема централно място, при АИИ се набляга върху изследването на процеси, характеризиращи се с неравновесна динамика, за които няма гаранция, че ще достигнат равновесие дори в дългосрочен план. Инструментариумът на АИИ я прави особено подходяща за изучаване на ситуации, при които е важно да се отчитат институционални аспекти и явно зададена структура на взаимодействие на икономическите агенти на микро ниво. Такива ситуации често се характеризират с хетерогенност на отделните агенти и локален характер на взаимодействията между тях.

Основният подход на АИИ – моделиране на поведението и взаимодействията на много агенти, всеки от които има уникални характеристики – позволява много подробно и индивидуализирано описание на дадена икономическа ситуация или процес. По-конкретно, за всеки един от агентите могат да бъдат включени голям брой персонални данни и да се детайлизират действията, които се предприемат в различни ситуации на взаимодействие с други агенти, при това със значителна гъвкавост по отношение на заложеното поведение (напр. условно предприемане на действия в зависимост от стойностите на различни променливи, рандомизация на решения, използване на специфичен математически и статистически инструментариум като част от когнитивния процес на агента). Като се отчитат големите възможности на съвременната изчислителна техника, основният фактор, определящ степента на подробност на даден модел, е наличието на достатъчно детайлна индивидуална информация за субектите, които трябва да бъдат моделирани. Ако такава информация е налична, става възможно при съответните допускания да се моделират например действията на различните клиенти на някоя компания или поведението на отделните банки в банковата система. При това положение може да бъде изграден модел, който е силно „персонализиран“ спрямо характеристиките на дадена задача, за разлика от традиционните подходи, където отчитането на спецификата обичайно се реализира в ограничена степен, често поради изискванията за приложимост на стандартния инструментариум.

АИИ е тясно свързана с т.нар. сложни адаптивни системи. В литературата една система (представляваща набор от взаимодействащи си елементи) се нарича сложна, ако в нея на макро ниво се проявяват ефекти, които отсъстват в поведението

на индивидуалните съставляващи я единици (вж. *Wossara* (2010), с. 3). Системата е адаптивна, ако поведението на индивидуалните елементи в нея се променя в отговор на промени в средата (вж. *Miller and Page* (2007), с. 28). Повечето модели в АИИ представляват компютърни реализации на сложни адаптивни системи, от които произтичат две важни следствия: микроикономическите основи на моделите не са ограничени от изискването поведението на отделните субекти да се пренася пряко на макрониво, както в случая при модели с представителен агент, а и става възможно моделирането на много по-богат набор от ситуации по отношение на информираността и възможностите на отделните агенти да определят оптималното си поведение в дадена ситуация.

Реализация на многоагентни модели

Конкретен модел, разработен според методологията на АИИ, се нарича *многоагентна система*. Технически една многоагентна система се реализира като програма, която се състои от набор взаимодействащи си обекти. Именно тези обекти се наричат *агенти* в смисъла на АИИ. От софтуерна гледна точка един агент е и обект в смисъла на обектно-ориентираното програмиране (вж. напр. *Garrido* (2009)), т.е. той се характеризира с набор от *атрибути* (данни, характеризиращи агента) и *методи* (най-общо действията, които извършва съответният агент). Атрибутите на даден агент могат да бъдат данни, които в традиционните модели стандартно се разглеждат като ендеогенни променливи (потребление, депозити, заплата), както и параметри (дисконтов фактор по времето, норма на амортизация, вероятност за преживяване в даден период). Методи са например правенето на заявки за теглене или депозирание на суми, извършване на покупки на стоки за лично потребление, инвестиционни дейности и пр. Методите на даден агент могат да променят неговите собствени атрибути или атрибутите на други агенти. Чрез методите може да бъде реализирана много сложна логика на поведение на съответния агент, напр. събиране на детайлна информация от заобикалящата го среда, обработването ѝ, решаване на динамична оптимизационна задача за определяне на реакция съобразно събраната информация, и т.н. От друга страна, методите позволяват да се моделират и по-прости типове поведение, като същевременно дават значително по-богати възможности в сравнение с използването на традиционен математически апарат за моделиране.

В контекста на АИИ понятието „агент“ има по-широк смисъл в сравнение с обичайната му икономическа употреба. Агенти са не само субекти като потребителите, фирмите и централната банка, но и институции в общия смисъл (напр. пазари), биологични или физически обекти (инфраструктурни обекти, реколти, земя), както и различни обществени формирания, като семейства, партии и профсъюзи. При подобно разбиране за агент е ясно, че в даден модел може да има много агенти от един тип, а на свой ред агентите могат да бъдат съставени от други агенти, формирайки сложни йерархични структури. Това позволява при нужда да се въведе голяма степен на подробност в модела, като на изследователя не се налага да се абстрахира от важни детайли заради технически ограничения на използвания метод за анализ.

Симулацията с многоагентна система по същество проследява състоянието на всички агенти в модела за определен брой стъпки във времето, започвайки от зададени начални условия. В хода на симулацията агентите си взаимодействат чрез съответните методи и динамично реагират на промените в средата според зададената им логика на поведение. При една симулация могат да се активират и различни стохастични механизми. Това, в съчетание с типичните за такива системи нелинейни връзки (напр. при производствени технологии с нарастваща възвращаемост от мащаба) и локални взаимодействия, позволява да бъдат генерирани сравнително големи колебания в системата при малки по размер шокове (*Scheinkman and Woodford (1994)*). От практическа гледна точка при използването на стохастични механизми се налага да се правят много повторения на дадена симулация, за да се установят закономерностите в системата. Също така нелинейният характер на връзките би могъл да доведе до качествени промени в динамиката на системата при много малки изменения в някой параметър или начално условие (бифуркация). С цел да се установят подобни качествени промени симулациите с многоагентни системи обичайно се повтарят за избран набор от стойности на начални условия или параметри⁶.

⁶ Английският термин за това е *parameter sweep*.

Изисквания към многоагентните системи

За успешното използване на една многоагентна система за икономически анализи следва да са изпълнени определени изисквания (LeBaron and Tesfatsion (2008)). На първо място, трябва да се изберат подходящи типове и йерархии на агенти. Това предполага да се определят икономическите субекти, които действат, техните цели и нужди, действията, които те предприемат, както и характеристиките на средата, в която функционират тези агенти (взаимовръзки между тях, институции и пр.). Предимство в случая е, че при конструиране на системата не се налага да се избира измежду ограничен набор от типове агенти от съображения за аналитично удобство.

На второ място, системата трябва да бъде устойчива при увеличаване на мащаба ѝ. По принцип един модел би трябвало да бъде колкото може по-икономичен като брой и типове агенти, но това не следва да е за сметка на изкуствено ограничаване на броя включени агенти. Ако по определени причини моделираната ситуация не се характеризира с устойчивост по мащаба, то предимствата от използване на многоагентна система биха били ограничени. От друга страна, наличието на такова свойство дава възможност да се изследват най-разнообразни ситуации с несъвършена конкуренция (включително такива с по-голям брой участници) или отсъствие на координация между агентите, както и да се изследват ефекти от мащаба.

На трето място, резултатите от многоагентната система трябва да подлежат на емпирична проверка⁷, което е универсално изискване за всеки модел, но в случая на многоагентните системи има специфични фактори поради голямото множество от възможни избори на параметри, функционални форми, алгоритми и пр. Това крие риск една многоагентна система да бъде конструирана така, че резултатите формално да съответстват на даден набор от реални данни, но това да се постигне чрез манипулиране на стойностите на параметрите или функционалните форми, а не защото в нея са заложили правилните икономически механизми. Варианти за преодоляване на този потенциален проблем са използването на експериментални данни от лабораторни изследвания за определяне на правилните типове поведение,

⁷ Вж. Windrum et al. (2007) за повече информация по въпроса.

опитите за възпроизвеждане на сложни информационни масиви, включване на информация, получавана в реално време от участници в симулацията или от статистически източник (напр. борсови данни). Разбира се, при определени ситуации е възможно една многоагентна система да бъде тествана и чрез използването на стандартни иконометрични методи.

Недостатъци на агентно-базираната изчислителна икономика

Наред с посочените по-горе предимства от използването на методите на АИИ, подобен подход има и определени недостатъци (*Tesfatsion and Judd* (2006), с. 845). Както беше отбелязано, изграждането на многоагентна система изисква пълна спецификация на агентите в модела, което включва разработване на всички техни атрибути и методи. Основен недостатък на АИИ е, че за по-мощаби задачи това може да ангажира значителни изчислителни и човешки ресурси, а освен това да липсва информация, необходима за алгоритмичната реализация на някои от методите на определени обекти. В такива ситуации прилагането на конвенционални подходи за моделиране би могло да доведе до по-добри резултати. Освен това възникването на нелинейни ефекти и използването на голям брой агенти, макар да допринасят за реалистично описание на моделирания проблем, понякога създават затруднения от гледна точка на изчисляването и евентуално биха направили изследването на такъв модел сложно.

Друг тип трудности се проявяват във връзка със споменатите по-горе особености на емпиричната проверка на моделите, базирани на многоагентни системи. Една многоагентна система стандартно може да произведе голям обем сложна като структура информация. Тази информация има времево измерение, а също така съдържа и различни разпределения на разнообразни характеристики на агентите в модела. Същевременно наличните реални данни най-често са по-оскъдни и с по-голяма степен на агрегация, което затруднява съпоставката с резултатите от модела, тъй като различни по структура или стойности на параметрите модели биха могли да обясняват еднакво добре даден набор реални данни. Възможна е и обратната ситуация: понеже разполагаме само с една реализация от действителните данни, съществува риск тя да не се съгласува с резултатите от избраната многоагентна система и построеният модел да бъде приет за грешен, дори когато всъщност е правилно специфициран.

Технически аспекти на разработването на многоагентни системи

Конструиране и техническо описание

Обикновено многоагентните системи имат стандартна структура, която включва:

- система от типове агенти (фирми, домакинства и др.);
- модели на поведение на агенти с дефинирани микроатрибути;
- модели за обмен на информация между агентите в системата, включително между агенти и среда, между дефинирани групи или отделни агенти;
- среда (икономика, пазар и др.), в която функционират агентите, с дефинирани макроатрибути;
- дефинирани времеви стъпки, в които системата се развива.

Първоначално в системата се въвеждат началните условия – микроатрибути за агентите и макроатрибути за средата. На всяка стъпка определен брой агенти обновяват своите микроатрибути с информация от средата, в която живеят, като използват за това връзките си с други агенти. Заложените модели на поведение и модели на обмяна на информацията са базирани на разнообразни типове поведение, включително поведение с ограничена рационалност, опитващи се да отчетат стандартни факти от емпирични наблюдения или теорията. При всяка стъпка микроатрибутите се агрегират, за да се получат макроатрибутите (БВП, инфлация, безработица, парични агрегати и др.).

В практиката се използват различни подходи при описването и представянето на моделите. Един такъв подход е *ODD* (*Overview, Design concepts, and Details*), който се счита за основополагащ при моделирането на многоагентни системи в екологията, но впоследствие се превръща в стандартен подход при описването на многоагентни процеси и системи (*Grimm et al. (2006)* и *Grimm et al. (2010)*). Целта му е да се комбинират, от една страна, стандартизиран начин на описание, който да е независим от структурата, целта и формата на прилагане на модела, а от друга – възможността за формализирано представяне, което е независимо от интуицията и практическите съображения за избраната формулировка. По този начин моделите в различни области на науката могат лесно да се съпоставят и анализират. Чрез него се стандартизират три блока в описанието на многоагентни системи:

– *Преглед (Overview)*. Този блок включва общ преглед на целта и структурата на модела, като изложената информация би трябвало да е достатъчна за читателя, за да може той да реализира на обектно-ориентиран език конструкцията на описвания модел;

– *Основни принципи на конструиране (Design concepts)*. В този блок не се описва моделът, а по-скоро се излагат основните идеи в него. Целта на този блок е да свърже използваните в модела идеи с по-общите принципи на сложните адаптивни системи. Тези принципи включват изясняването на въпроси, свързани с възникването на взаимоотношенията между агентите, начините на взаимодействие между тях, механизмите за формиране на очаквания за бъдещето, и защо и как се използват стохастичните процеси в модела;

– *Особености (Details)*. В този блок се представят свойства на модела, които са изпуснати в прегледа. Прави се описание на всички необходими стъпки, чрез които може да се реализира моделът и да се пуснат базисните симулации.

Друг, допълващ ODD, подход е използването на език за обектно моделиране, каквито са унифицираният език за моделиране UML (*Unified Modeling Language*) и разширението му за целите на многоагентните системи – AML (*Agent Modeling Language*), които освен стандартизирането на описанията на моделите предлагат и възможности за визуализация на системите (Bersini (2012); Cervenka and Trencansky (2007)). В основата на тези езици са дефинирани и стандартизирани типове диаграми, които са независими от езиците за програмиране и използвания софтуер. Езикът за обектно моделиране е насочен изцяло към самия процес на моделиране, а не към програмирането.

Програмният код на модела може да бъде написан на всеки един обектно-ориентиран език (Nikolai and Madey (2009)), но за разлика от конвенционалното обектно-ориентирано програмиране, където се моделират *обекти*, тук се моделират *агенти*. Според Allan (2010) обектите в обектно-ориентираното програмиране обикновено са със зададени предварително поведение и структура, докато *агентите* се програмират така, че да имат свобода и контрол върху поведението си. Те са динамични, могат да изпълняват задачите си по начин, различен от очакваното, нямат фиксирани взаимоотношения с другите *агенти*. В практиката най-често се срещат програми, написани на езиците Java, C, C++ и NetLogo.

Софтуерни платформи

Поради широкия обхват на възможните приложения на многоагентните модели и високото ниво на сложност, което могат да достигнат, съществуващите софтуерни платформи често са конструирани за постигането на определена цел или за нуждите на моделирането в определена наука. Въпреки това съществуват софтуерни продукти с общо предназначение, които се стремят да предоставят гъвкавост при прилагането на многоагентни модели в различни области (вж. *Allan (2010); Berryman (2008) и Railsback et al. (2006)* за преглед на софтуерните приложения, предназначени за многоагентни системи).

Повечето от разгледаните тук софтуерни приложения имат минимални хардуерни изисквания, съвместими със стандартните настолни компютри. Въпреки това, при осъществяване на голям брой симулации или при усложняване на модела, необходимото време за извършване на изчисленията и обработката на произтичащите данни може да се увеличи многократно, което да породи нужда от употреба на високопроизводителни изчислителни системи. Допълнителен фактор, който може да повиши необходимостта от изчислителен капацитет, е размерът на модела. Това се дължи на микроструктурата на този тип модели и нуждата да се извършват изчисления поотделно за всеки агент. Поради това в изложението по-долу е отделено внимание и на продукти, които са предназначени специално за високопроизводителни изчислителни системи.

Поради ограничения достъп до софтуерната реализация на съществуващите многоагентни макроикономически модели, в разработката се представят програмните продукти, които по наше мнение е възможно да бъдат използвани при реализацията на икономически модели. Общото между посочените по-нататък програмни продукти е възможността им да създават агенти, които са способни да взаимодействат помежду си, да бъдат повлияни от заобикалящата ги среда, както и да разполагат с индивидуална памет, правила за поведение и параметри.

MASON

MASON⁸ (*Multi-agent Simulator Of Neighbourhoods/Networks*) е софтуер, разработен на Java, с цел бързо изпълнение на голям брой симулации, съдържащи много агенти. Поради тази си

⁸ Интернет страницата на продукта е на адрес: <http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/>

особеност MASON предлага възможността да се изключи графичното представяне на модела⁹, както и паралелно да се извършват изчисленията от няколко компютъра, свързани в мрежа. Възможен недостатък на приложението е степента на трудност при създаването на програмния код за съставяне на модела. MASON може да бъде определен като приложение за потребители с опит в програмирането, но предоставящ възможност за разработка на модели с висока степен на сложност. Продуктът разполага с графичен интерфейс, който улеснява до голяма степен потребителите при ползването му. Документацията е детайлна и съществуват въвеждащи курсове на интернет страницата на продукта, където също така са публикувани съществуващи модели, както и научни трудове в различни области на науката, при които е използван MASON. Продуктът позволява да се ползват допълнителни пакети (модули), разширяващи функциите му или улесняващи потребителя.

Repast

*Repast*¹⁰ (*REcursive Porous Agent Simulation Toolkit*) е създаден като платформа за многоагентни симулации. Създателите му са си поставили за цел да предоставят платформа, улесняваща потребителя в създаването и управлението на многоагентни модели, като са включили набор от инструменти за графично представяне на моделите, за подробно изследване на резултатите, както и статистически пакети, улесняващи анализа на данните. Продуктът разполага с възможност да се ползват модели, създадени под *NetLogo* (описан по-долу), както и да се използват изчислителни центрове и суперкомпютри при провеждането на симулациите. В сравнение с MASON, *Repast* позволява на потребители с по-малко опит да създават модели, но все пак се изискват базисни познания по програмиране с *Java*. Документацията съдържа подробно описание на функционалността на продукта, примери и въвеждащи наръчници за начинаещи и напреднали потребители. Съществува и версия на продукта (*RepastHPC*), която е базирана на C++ и е предназначена за използване на високопроизводителни изчислителни системи.

⁹ Графичното представяне на многоагентен модел създава нуждата от допълнителни изчислителни ресурси, което може да се отрази на времето, необходимо за извършването на съответните изчисления.

¹⁰ Интернет страницата на продукта е на адрес: <http://repast.sourceforge.net/>

NetLogo

*NetLogo*¹¹ може да бъде определен като софтуер за начинаещи. Създаването и управлението на многоагентни модели в него е улеснено от силно опростения програмен език, който се използва. Тази негова характеристика обаче не го прави по-малко функционален от останалите програмни продукти. *NetLogo* позволява създаването и на сложни модели. Софтуерът предлага голям брой допълнителни пакети, които разширяват функциите му и улесняват обработката на данни, произлизащи от модела. Друго интересно свойство е възможността да се създава връзка между *NetLogo* и различни научни програмни продукти (напр. *R*, *Mathematica*, *Matlab*). Този подход може да улесни използването на по-сложни процедури, които не са заложили в *NetLogo*, но вече са налични в съответните програмни продукти. Пример за това може да бъде нуждата от оценяване на линейна регресия, резултатите от която да бъдат използвани за задаване на стойности на параметри в *NetLogo*. На интернет страницата на продукта са включени подробна документация, въвеждащи курсове и голям брой примерни модели в много различни области на науката.

FLAME

*FLAME*¹² (*Flexible Large-scale Agent-based Modeling Environment*) е набор от библиотеки, които са специално разработени за симулиране на многоагентни модели върху високопроизводителни изчислителни системи. Продуктът позволява паралелно извършване на симулациите на даден модел чрез различни¹³ видове компютърни системи, което го прави подходящ за разработване на много големи и сложни модели. За разлика от представените по-горе приложения *FLAME* изисква потребителят да притежава по-високо ниво на квалификация за програмиране на *C* и *XML*, както и използване на високопроизводителни изчислителни системи. *FLAME* като цяло позволява да се сведе до минимум нужното време за извършване на симулации с даден многоагентен модел, но анализът на резултатите изисква допълнителна обработка с външен софтуер. Липсва добре разработен графичен интерфейс, който да

¹¹ Интернет страницата на продукта е на адрес: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

¹² Интернет страницата на продукта е на адрес: www.flame.ac.uk/

¹³ Според описанието на продукта на интернет страницата му, *FLAME* може да работи както върху персонални компютри, така и върху високопроизводителни системи, без да е нужна допълнителна модификация.

улесни начинаещите потребители при съставянето на модели. В текущата версия¹⁴ не се предлагат модули, които да позволяват въграждането на допълнителни функционалности в продукта. На интернет страницата на приложението са предоставени малки примерни модели за самообучение.

Необходима квалификация на екипа, разработващ многоагентна система

Решението на даден изследователски екип за разработване и прилагане на модели, базирани на многоагентни системи, изисква информация както за потенциалните ползи от такива модели, така и за необходимите ресурси за реализирането на подобен проект. Най-важният ресурс в този контекст е наличието на експерти със специфични познания в областта на многоагентните системи. По тази причина акцентът в настоящата част е поставен върху различните умения, които се изискват от екипа, разработващ многоагентна система. Основно допускане е, че участниците в проекта имат добри икономически познания и разбиране за проблемите, към които ще се прилага подходът на АИИ. По-долу са посочени само специфичните за многоагентното моделиране изисквания.

Задължителните изисквания към екипа, разработващ многоагентна система, са:

- познания за принципите за дизайн на програми и умения да се опишат и документират избраните идеи за реализация, напр. чрез *ODD*, *UML* или *AML*;
- познания за идеите и принципите на обектно-ориентираното програмиране;
- владение на конкретен обектно-ориентиран език за програмиране съобразно избраната платформа. За стандартен тип проект е необходимо изборът на подходяща обща платформа и език да бъде съобразен не само с особеностите на задачата, но и с компетенциите на изпълнителите;
- познания за общите принципи и подходи за провеждане на симулации, както и умения за анализ и интерпретация на резултатите от проведени симулации;

¹⁴ Към момента на редакционното приключване на настоящата разработка разглежданите версии на библиотеките са *xparser* (версия: 0.17.0) и *libmboard* (версия: 0.3.0)

– наличие на поне един член на екипа с подготовка в областта на статистически методи и обработка на данни, по-специално на големи обеми информация. Това е необходимо поради факта, че обичайно резултатите от една симулация с многоагентна система представляват голям масив от данни и извличането на зависимости от тях изисква да бъдат обработвани по подходящ начин със съответните методи.

Специфичните изисквания към екипа са свързани с определени задачи в рамките на проекта. В отделни случаи може да възникне необходимост от включване в екипа на специалист по високопроизводителни компютърни системи, тъй като при големи и сложни модели изчислителната сложност на задачата може да нарасне до степен, при която се налага симулациите да се провеждат в специална хардуерна среда – суперкомпютър или клъстер от компютри.

При положение че някои от изброените по-горе умения не са налице и трябва да бъдат изграждани, важно е да се отчита необходимостта от период на обучение за придобиване на базисна компетентност. Неговата продължителност зависи от фактори, като естеството на материята, наличието на подходящи форми и материали за обучение, началната подготовка на обучаващия се и интензивността на заниманията. Като ориентир може да се приведе примерът с обучението по езика за програмиране *Java*, където *Lemay and Perkins* (1996) предвиждат триседмичен интензивен курс за начално запознаване с езика, а *Wu* (2008) предлага обучение по *Java* и обектно-ориентирано програмиране за срок от приблизително два университетски семестъра, целящо достигане на средно ниво на познания в материята¹⁵. Същевременно натрупването на необходимите знания в областта на статистическите методи и обработката на информация може да изисква усвояване на материала в рамките на 4–5 университетски курса, всеки с продължителност от един семестър.

Също така е необходимо да се има предвид, че дори при наличие на напълно квалифициран екип изграждането на функционираща многоагентна система изисква време и съответните ресурси. За пример може да бъде посочен проектът *EURACE*. Този многоагентен

¹⁵ Има се предвид т.нар. *intermediate level* в рамките на университетското обучение, т.е. курс на второ равнище след курс за начално запознаване с дисциплината.

модел към момента е един от най-мощните в областта на икономиката, а в разработването му са участвали специалисти от девет университета. Изпълнението му е отнело около 3 години, като през този период са били разработени едновременно софтуерната платформа и съответният икономически модел.

Приложения на многоагентните системи

С оглед на гъвкавия инструментариум, който предлагат при решаването на комплексни задачи и конструирането на симулационни модели, както и развитието на изчислителните възможности на съвременните компютри, многоагентните системи намират приложение във всички сфери на науката. Най-често те се използват за моделиране и изследване на явления в областта на социалните науки, физиката, химията, биологията, медицината, околната среда, географските системи и сигурността (Allan (2010); Nikolai and Madey (2009)). Приложенията им варират от прости, абстрактни модели, които целят да обхванат само най-съществените характеристики на явлениято, до изключително сложни модели, изискващи значителни ресурси за конструирането и анализирането им, подпомагащи управленския процес и решаването на задачи, пряко свързани с ежедневната дейност на големи институции.

По-нататък се спираме върху приложенията на многоагентните системи, свързани с моделирането и симулирането на явления в сферата на социалните науки и по-конкретно такива, които се използват при решаването на задачи в областта на макроикономиката и финансите. Разгледаните разработки са подбрани съобразно възможностите за използване на резултатите им при формулирането и провеждането на макроикономическа политика, с акцент върху ролята на финансовия сектор и банковата система. Съответно приложенията са групирани в следните три категории модели: макроикономически модели, изследващи връзката между финансовия и нефинансовия сектор, други многоагентни макроикономически модели и приложения на многоагентните системи, разглеждащи въпроси от областта на финансите.

Макроикономически модели, изследващи връзката между финансовия и нефинансовия сектор

В тази част е направен преглед на някои научни публикации, които използват инструментариума на АИИ, за да обвържат финансовия и нефинансовия сектор на икономиката. Авторите им разглеждат различни аспекти на паричната политика и банковите регулации, които влияят върху макроикономиката.¹⁶ Тези модели изясняват въпроси, свързани с това как индивидуалното поведение на различни видове агенти (домакинства, фирми, банки, правителство, централна банка) предизвиква промени на макроравнище. По-конкретно, разглеждаме моделирането на процесите, които водят до възникване на кредитни и бизнес цикли, моделирането на икономически и/или финансови кризи, на регулаторна (микро- и макропруденциална) политика и на паричната политика на централната банка и ефектите им върху реалната икономика, разпределението на доходите и влиянието им върху ефективността на паричната и фискалната политика.

Един от агентно-базираните модели, използвани за изследване на влиянието на паричната политика върху макроикономически променливи, е на *Dosi et al.* (2013). В него се дефинират няколко вида агенти: два типа фирми – произвеждащи инвестиционни стоки и произвеждащи стоки за потребление; потребители, които са и работници във фирмите; банки; централна банка и публичен сектор. Фирмите, произвеждащи инвестиционни стоки, правят разходи за развойна дейност, заимстват технологии от своите конкуренти и продават продукцията си на фирмите, специализирани в производството на потребителски стоки. Моделът предвижда неконкурентните фирми в двата сектора да изчезват и на тяхно място да се създават нови. Потребителите (работниците) предлагат своя труд на двата вида фирми и напълно потребяват получения доход. Банките набират депозити от фирмите и предоставят кредити на фирмите, които имат финансови нужди, отчитайки нетната им стойност. Централната банка определя лихвените проценти и регулаторния режим. Правителственият

¹⁶ Тук ще разгледаме някои примерни статии по темата за агентно-базирани макроикономически модели с финансов сектор. За по-задълбочен преглед на литературата може да се използва статията на Hommes (2006) от сборника Tesfatsion and Judd (2006).

сектор от своя страна налага данъци и изплаща обезщетения на безработните. Моделът е конструиран така, че да може ендегенно да генерира растеж и бизнес цикли, както и да възпроизвежда набор от стилизирани факти за икономиката на микро- и макрониво.

Резултатите от симулациите показват, че разпределението на доходите в икономиката влияе върху колебливостта в производството, нивото на безработица и вероятността от възникване на кризи. То влияе и върху ефективността на паричната политика, чийто ефект е по-съществен при по-малко неравенство на доходите. Лихвените проценти могат да имат значителен ефект както върху дългосрочния растеж, така и върху краткосрочните икономически колебания. Когато обаче неравенствата са големи, икономиката може да попадне в ситуация на ликвиден капан, при което паричната политика е изцяло неефективна. По отношение на регулаторната политика авторите стигат до заключението, че по-високи стойности на съотношението „заем/стойност“ (*loan-to-value ratio*) влияят позитивно на икономическия растеж, когато фирмите не могат да разчитат само на вътрешните си източници на финансиране. Резултатите от симулациите показват, че разпределението на доходите оказва значително влияние върху макроикономическите показатели, като фискалната политика е по-ефективна, когато печалбите на фирмите формират по-голям дял от доходите в икономиката.

В базовия макроикономически модел на *Lengnick* (2011) се разглежда модел на многоагентна система, с който се изследва неутралността на парите в краткосрочен и дългосрочен хоризонт. Използват се два типа агенти – фирми и домакинства. Животът на агентите е неограничен. Технологиите и капиталът са фиксирани, а парите се използват само като средство за размяна. Моделът на *Lengnick* е способен да възпроизведе микро- и макроикономически закономерности, като обратната връзка между свободните работни места и безработицата (кривата на Бевъридж) и обратната връзка между растежа на заплатите и безработицата (крива на Филипс). В системата се подават нарастващи стохастични шокове в паричното предлагане. Моделът показва, че в дългосрочен план парите са неутрални, но в краткосрочен оказват влияние върху производството. Авторите успяват да моделират т.н. ефект на пеперугата (*Lorenz* (1972)), при който малки изменения в началните условия водят до съществени различия в крайното състояние на една детерминистична,

нелинейна система. Резултатите от симулациите показват, че малки промени в потреблението на индивидуално ниво могат да доведат до съществени изменения в бизнес цикъла в дългосрочен план.

Използвайки методите на АИИ, *Lengnick et al.* (2012) създават модел на кредитен пазар. Агентите в модела са три типа – домакинства, банки и централна банка. Поведението на домакинствата се моделира така, че да имат характеристики, типични за фирмите. Те купуват и произвеждат стоки, спестяват и вземат кредити. В модела се използват и пространствени характеристики на средата, които влияят на процеса на случайното взаимодействие между агентите. Централната банка има пасивна роля в модела и не използва инструментите на паричната политика. Основните променливи, с които се характеризират банките и домакинствата, са касовите им наличности, като всички трансакции в модела са в брой. Банките поддържат минимални задължителни резерви в централната банка и участват на междубанков паричен пазар. Основният механизъм, изследван в модела, е този на създаването на пари от централната банка (чрез паричната база) и банките (чрез набирането на депозити и отпускането на кредити). Равновесието в модела не е зададено, а се постига ендогенно в дългосрочен план като резултат от процеса на взаимодействие между агентите. Авторите показват, че процесът на създаване на пари неизбежно води до колебания в динамиката на показателите в модела. Това е така, защото ендогенността на парите е тясно свързана с мрежа от вземания между агентите. Тези вземания не са синхронни в системата и се стига до ситуации, при които изходящите потоци на една банка надвишават входящите, което води до нейния фалит и създава предпоставки за нестабилност в цялата система, тъй като другите банки губят вземанията си от изпадалата в несъстоятелност банка. Изводът, който правят авторите, е, че ендогенните колебания са характерна черта на паричните икономики и на тях не трябва да се гледа като на породени от екзогенни шокове, какъвто например е подходът на динамичните стохастични модели на общо равновесие.

В изследването на *Delli Gatti et al.* (2005) е представен модел на икономика с фирми, потребители (работници), банки и централна банка. Фирмите произвеждат хомогенни стоки, използвайки производствената функция на Коб-Дъглас, и се

финансират единствено с банкови кредити. Тъй като стоките са хомогенни, потребителите не избират *какво*, а *от кого* да купят необходимите им стоки. Фирмите и работниците участват на пазара на труда. Банките набират депозити от домакинствата и отпускат кредити на фирмите. Решенията за кредитиране се вземат въз основа на вероятността за фалит, която банките изчисляват за всяка фирма. Централната банка провежда парична политика, използвайки правилото на Тейлър и изпълнява функцията на кредитор от последна инстанция. Банката има възможност да избере стратегия с твърд ангажимент относно една цел (инфлация; номинален растеж на БВП; или комбинация от двете) или адаптивна стратегия (в модела това се реализира чрез генетичен алгоритъм¹⁷ за естествен подбор на подходящите стойности на параметрите в правилото на Тейлър). Капиталовият пазар е несъвършен и паричната политика въздейства върху икономиката през кредитния канал, а влиянието на парите не е неутрално в дългосрочен план. Симулациите с така конструираната многоагентна система показват, че централната банка постига по-добри резултати, използвайки адаптивната стратегия, в сравнение с постигнатите при стратегия с твърд ангажимент само към една цел.

По сходен начин *Raberto et al.* (2008) анализират парична политика, чиято цел е минимизиране на отклонението на реалното от потенциалното производство. В този модел са включени една фирма с монополна пазарна сила, профсъюз, централна банка и агенти, които са едновременно потребители, работници и участници във финансовата търговия. Резултатите от симулациите с модела показват, че паричната политика, имаща за цел минимизиране на отклонението от потенциалното производство, е по-ефективна и води до повишаване на благосъстоянието на агентите и по-ниски ценови колебания в сравнение с политика, която няма дефинирана целева функция (т.е. промените в лихвения процент на централната банка се генерират на случаен принцип).

Oeffner (2008) си поставя за цел да създаде стилизиран паричен макроикономически модел, използвайки многоагентна система.

¹⁷ Генетичните алгоритми са такъв тип компютърни програми, които симулират процеси на естествен подбор, познати от биологията, с цел да се пресъздаде еволюционен тип система (вж. Holland, 1992; Mitchell, 1998).

Авторът показва, че паричната политика има ефект върху реалната икономика както в краткосрочен, така и в средносрочен хоризонт. Той моделира поведението на хетерогенни фирми, потребители (работници) и централна банка, като не са включени тържествен сектор и банки. Централната банка определя основния лихвен процент, служи като централна клирингова къща при трансакциите между агентите и на практика влиза в ролята на търговска банка, която отпуска кредити и набира депозити. Използвайки многоагентна система, авторът достига до заключението, че нулевата граница на основния лихвен процент при продължителна дефлация съществено ограничава възможностите на паричната политика да влияе върху икономиката, което на практика означава, че този инструмент не е подходящ за противодействие при дефлация.

Mandel et al. (2010) също описват модел с голямо ниво на детайлизация, включващ няколко сектора, хетерогенни фирми и домакинства (домакинствата притежават фирмите), правителствен сектор, пазар на стоки и пазар на труда. В модела предварително се въвеждат таблици на междустрановите връзки, характеризиращи взаимодействията между секторите. Правят се симулации както на секторно, така и на междусекторно ниво. В статията се достига до извода, че използването на правилото на Тейлър може да доведе до по-висока нестабилност в икономиката в резултат на по-голяма несигурност в очакванията на фирмите.

Ефектите от нестандартни мерки на паричната политика се изследват в статията на Cincotti et al. (2010). Авторите развиват многоагентен модел, базиран на платформата EURACE¹⁸, за да симулират ефектите от нестандартните операции по рефинансиране от страна на централните банки (т.нар. количествени улеснения, *quantitative easing*). Към момента тази платформа се счита за най-широкообхватната многоагентна

¹⁸ През последните години бяха създадени няколко големи международни проекта, целящи да създадат максимално подробни макроикономически модели, базирани на многоагентни системи:

- CRISIS – Complexity Research Initiative for Systemic Instabilities, <http://www.crisis-economics.eu>
- FOC – Forecasting Financial Crises, <http://www.focproject.net>
- EURACE <http://www.eurace.group.shef.ac.uk> и продължението му EURACE@UNIBI, <http://www.wiwi.uni-bielefeld.de/vpl1/research/eurace-unibi.html>
- EOS – Economics via Object-oriented Simulation, <http://eos.cs.princeton.edu/>

система, включваща в детайли реалния, финансовия и фискалния сектор, както и връзките между тях (*Deissenberg et al. (2008)*). Резултатите от симулациите с модела показват, че провеждането на нестандартна парична политика чрез голям обем рефинансиращи операции и на стимулираща фискална политика повишава растежа на икономиката, но същевременно повишава и инфлацията, и води до по-големи колебания на производството в дългосрочен план.

Raberto et al. (2012) използват платформата *EURACE*, за да изследват влиянието на кредитните цикли върху бизнес циклите. В модела се извършват симулации на ефектите от различни регулаторни нива на капиталова адекватност, като се пресъздават изискванията, заложи в Базел II. Резултатите показват, че натрупването на дълг от фирмите води до ускорен икономически растеж в краткосрочен план, но в дългосрочен хоризонт високата задлъжнялост допринася за по-голям брой фалити, значителен спад в БВП и ограничаване на кредитирането.

В изследването си *Ashraf et al. (2011)* се опитват да пресъздадат микропруденциални политики за регулиране на банковата дейност в макроикономически модел, базиран на многоагентна система. Моделират се хетерогенни фирми, които си взаимодействат с банките чрез предоставяне на депозити и търсене на кредити. Поведението на банките в модела се контролира чрез наложени регулации за норма за капиталова адекватност и за съотношението заем към стойност. Симулациите с модела показват, че икономиката може да попадне, макар и в редки случаи, в кризисна ситуация, за преодоляването на която поведението на банките е изключително важно. Наблюдаваните при симулациите с модела кризисни ситуации са свързани, от една страна, с достигането на нулеви номинални лихвени равнища, което ограничава влиянието на паричната политика на централната банка върху икономиката, а от друга – със свиването на банковото кредитиране, което възпрепятства дейността на фирмите. В такива ситуации банките могат да бъдат финансови стабилизатори на икономиката, подпомагайки появата на нови фирми и избягвайки фалита на утвърдени фирми. Авторите стигат до заключението, че по-свободните микропруденциални регулации на банките биха допринесли за по-бързото възстановяване на икономиката от криза.

Някои статии разглеждат мрежови агентно-базирани модели, които спомагат за по-задълбочено вникване в проблемите на започналата през 2008 г. глобална финансова криза. В статията

на *Delli Gatti et al.* (2010) се описва модел с банки и хетерогенни фирми, като се изучават свойствата на мрежово-базирания финансов акселератор¹⁹. Фирмите са два типа – произвеждащи потребителски стоки и произвеждащи продукти за междинно потребление. Първият тип фирми получават заемни средства от банките и търговски кредити от втория тип фирми. Вторият тип са едновременно кредитополучатели (спрямо банките) и кредитори (спрямо фирмите, произвеждащи потребителски стоки). Мрежата се развива непрестанно чрез заложения механизъм за избор на банка и доставчик от страна на първия тип фирми, които търсят най-ниските лихвени равнища по кредитите и цени на стоките за междинно потребление, както и от избора на банка от страна на втория тип фирми. В случай че някоя от фирмите, произвеждащи потребителски стоки, не е в състояние да посрещне задълженията си, тя фалира, което може да доведе до фалит и на фирмата доставчик на продукти за междинно потребление. Верижното разпространение на фалити влошава финансовото състояние на банката, отпуснала кредит за фирмите, и я принуждава да вдигне лихвените проценти по кредитите, което пък води до отлив на клиенти и евентуален фалит на банката. Симулациите показват, че така заложеният механизъм на развитие е предпоставка за възникване на бизнес цикли и финансови кризи. Авторите посочват, че промяната в структурата на мрежата вследствие на прехвърлянето на клиенти от една банка към друга, предлагаща по-ниски лихвени проценти, намалява негативния ефект от финансовия акселератор.

В статията на *Ricchetti et al.* (2012) се описва агентно-базиран макроикономически модел с три сектора – домакинства, фирми и банки, взаимодействащи си на четири пазара – пазар на стоки, пазар на труд, кредитен пазар и депозитен пазар. Симулациите с модела показват, че децентрализираните взаимодействия между агентите водят до възникването на някои основни макроикономически явления, като растеж на номиналния БВП, динамика в нивото на безработица, крива на Филипс, зависимост на икономическия растеж от кредитните ограничения и циклите в задължнялостта. Авторите показват, че ендогенните бизнес цикли настъпват в резултат от взаимодействието на реални и финансови фактори. При реализиране на печалби фирмите се

¹⁹ За описание на стандартния финансов акселератор вж. Bernanke et al. (1999).

опитват да увеличат производството си, търсейки финансиране. Ако банките отпуснат кредити, които да задоволят търсенето, това води до повишаване на заетостта. На свой ред тя стимулира нарастването на заплатите, което, от една страна, повишава съвкупното търсене, а от друга – намалява печалбите на фирмите, което може да доведе до промяна в цикъла. Симулациите показват нелинейност във връзката между задлъжнялостта на фирмите и безработицата – при повишаване на задлъжнялостта на фирмите безработицата спада, но при достигане на високи стойности на съотношението на дълга към собствения капитал връзката е обратна и безработицата започва да нараства. Подобна взаимозависимост се открива и между растежа на кредитите за фирмите и безработицата, където първоначално се наблюдава отрицателна връзка, но при прекомерни равнища на кредитиране нарастват фалитите на фирми, което води до нарастване на безработицата. Авторите описват и ситуации, в които се наблюдават ендогенно създадени дълги периоди на кризи. Тогава икономиката може да се окаже в ситуация на висока безработица и бавно възстановяване, която да се преодолява само чрез външна намеса (дефинирана в модела като правителствена помощ за частния сектор).

Други многоагентни макроикономически модели

Всички описани в предходната част модели са по своята същност макроикономически модели с развит финансов сектор. Тук ще обърнем внимание на няколко модела, които засягат други аспекти на макроикономиката и в частност фискалната политика и пазара на труда. Тези модели изясняват въпроси, свързани с преразпределителната роля на гържавата и избора на най-подходящата политика за стимулиране на икономическата активност. Разглежданите изследвания на пазара на труда показват възможностите на многоагентните системи за моделиране на хетерогенен пазар на труда и за анализ на ефектите от политики, целящи повишаване квалификацията на работниците.

Моделът, описан в статията на *Dosi et al.* (2010), е опростена версия (без банки и централна банка) на модела на *Dosi et al.* (2013), в която авторите се опитват да свържат кейнсианската теория за стимулирането на съвкупното търсене с теорията на Шумпетер за икономическия растеж на базата на развитието на

нови технологии. Моделът се използва за изучаване на ефектите от промени във фискалната политика (на данъчната ставка и размера на обезщетенията за безработица) и от промени във възможностите за технологично развитие на фирмите върху растежа на БВП, колебанията в темпа на растеж на БВП и равнището на безработица. Авторите стигат до заключението, че кейнсианският тип политика е необходимо условие за растеж и тя може успешно да се използва за ограничаване на резките колебания на икономическите показатели. Същевременно се доказва, че сама по себе си политиката на стимулиране на технологичния напредък не е достатъчна за устойчив растеж, без да е съпроводена с кейнсианска политика за стимулиране на съвкупното търсене. Резултатите от изследването, за разлика от традиционните схващания, показват още, че двата типа политика оказват влияние както в краткосрочен, така и в дългосрочен план.

Napoletano et al. (2012), използвайки модела, развиган в *Dosi et al.* (2010) и *Dosi et al.* (2013), изследват как инвестиционната активност на фирмите, заплатите и разпределението на доходите влияят върху краткосрочната и дългосрочната динамика на икономиката. Анализират се два сценария – в първия инвестиционните решения на фирмите се определят от реализираните печалби, а във втория зависят от очакванията за търсенето. Авторите показват, че независимо от избрания сценарий, определящо значение за устойчивия растеж на икономиката има балансът в разпределението на доходите между печалби на фирмите и заплати на домакинствата. В статията се стига до извода, че по-голямата гъвкавост на заплатите в условия на повишена безработица може да доведе до растеж на икономиката и спадане на безработицата само при сценарий, когато инвестициите зависят от реализираните печалби.

Russo et al. (2007) описват многоагентна система, която се състои от хетерогенни фирми с ограничена рационалност и потребители (работници). И двата пазара – на труд и на стоки, се характеризират с децентрализиран процес на търсене и предлагане, което предполага наличие на неравновесна динамика. Тя води до появата едновременно на нежелана безработица, излишък на непродадана продукция и свръхтърсене на индивидуално ниво. Моделът осигурява устойчив растеж и възпроизвежда основни микро- и макроикономически закономерности, като кривите на Бевъридж и Филипс и обратната връзка между безработицата

и съвкупния продукт (зависимост от типа на правилото на Оукън). По отношение на фискалната политика е показано, че тя е по-ефективна, когато данъчните приходи се използват за стимулиране на инвестициите в развойна дейност. Зависимостта обаче е немоноотонна, тъй като съвкупният продукт нараства заедно с увеличаването на плоския данък върху печалбата само до определен праг на ставката. От друга страна, ако данъчните постъпления се използват за предоставяне на помощи за безработица, а не за развойна дейност на фирмите, ефектът върху растежа на съвкупното производство е негативен.

В друга статия (*Dawid et al. (2008)*²⁰) се анализира многоагентен макроикономически модел, характеризиращ се с географска хетерогенност и разнородност в нивото на квалификация на работниците. Както и описаните по-горе модели, той включва два вида фирми – производители на инвестиционни стоки и производители на потребителски стоки. Фирмите, произвеждащи инвестиционни стоки, използват технологии, чрез които подобряват стоките си. Фирмите в сектора на потребителските стоки използват в производството си инвестиционни стоки и труд. Пазарът на труда е съставен от работници с умения на различни нива. Работниците могат да повишават квалификацията си съобразно технологията, използвана във фирмата, в която работят. Потребителските стоки се продават в търговски центрове, които служат единствено като място, където фирмите съхраняват и продават стоките си. Моделират се два региона в зависимост от уменията на работниците, които ги населяват. Резултатите от симулациите показват, че авторите са успели да конструират модел, който пресъздава емпирични данни относно връзката между квалификацията на работника, от една страна, и заплатите и безработицата, от друга. Политиката за подобряване на общото ниво на квалификация на работниците в един регион (когато в единия регион нивото на квалификация е ниско, а в другия – високо) в сравнение с провеждането на такава политика в двата региона (когато там нивото е еднакво – ниско или средно) води до повишаване на производството само в средносрочен план, докато в дългосрочен план вторият вариант дава по-добри резултати.

²⁰ Този модел, подобно на някои от описаните по-горе модели, е част от платформата EURACE.

Този пример онагледява нелинейния характер на моделите в АИИ, чиято микроструктура има съществено влияние върху ефекта от провежданите политики.

Приложения на многоагентните системи, разглеждащи въпроси от областта на финансите

Приложенията на многоагентните системи, които ще разгледаме тук, са свързани със симулация на платежни системи и финансови пазари²¹. Тези модели имат потенциално практическо приложение за провеждането на относително реалистични симулации на шокове в платежни системи или на финансови пазари, които да послужат за целите на надзора на платежните системи и на банковия надзор.

Обикновено многоагентните модели, изследващи платежните системи, съдържат хетерогенни банки, които взаимодействат помежду си чрез определена платежна система (система за брутен сетълмент в реално време – *RINGS*). Целта е да се проследи механизмът, по който банките реагират на забавени плащания и свързаните с това ликвидни проблеми на индивидуално и системно ниво. В *Galbiati and Soramäki* (2011) банките избират в началото на всеки ден ниво на ликвидни резерви, които ще използват за разплащанията на клиентите си през деня. Нарежданията за плащания са случайно генерирани и поради това има моменти, когато ликвидните резерви са изчерпани и възниква забавяне в изпълнението на плащанията. За забавените плащания банките имат разходи. Симулациите с модела показват наличието на нелинейна форма на връзката, описваща зависимостта между търсените количества ликвидност и цената им. Същевременно поддържането на ликвидност над равновесното ниво би намалило разходите на банките за забавяния. Авторите показват, че концентрация на плащанията в малко на брой банки води до по-голяма ефективност на системата.

В *Arciero et al.* (2009) е представен подобен многоагентен модел на платежна система, който се използва за симулиране на динамиката на паричните потоци при кризисни ситуации. Моделът

²¹ Задълбочен поглед върху използването на многоагентни модели във финансите дава статията на LeBaron (2006) от сборника *Tesfatsion and Judd* (2006).

е разширен, като са включени централна банка, която финансира банките срещу обезпечение при възникване на ликвидна нужда, и междубанков пазар, на който банките могат да заемат пари, в случай че нямат достатъчно обезпечение. Кризисната ситуация се симулира, като една случайно избрана банка спира своята дейност – не приема или изпраща плащания и не участва на междубанковия пазар. Симулациите с модела показват, че първоначалният ефект от прекъсването е свързан със свиване на ликвидността в системата и влошаване на очакванията на агентите, а след това кризата се пренася на междубанковия пазар, което налага намесата на централната банка за покриване на ликвидните нужди на системата.

В научната литература се обсъжда въпросът за причинно-следствената връзка между обемите и цените на търгуваните активи, като се установява съществуването на нелинейна двупосочна динамична връзка между тях. За да се обясни това явление в рамките на формален модел са необходими определени допускания. Примери за такива допускания са наличието на асиметрия в информацията на агентите, асиметрия в реакцията им или съществуване на агенти, които формират пазарната си стратегия изцяло на базата на историческата динамика в цената (*noise traders*). В изследването на *Chen and Liao* (2005) се прави един от първите опити да се моделира чрез агентно-базирани финансови пазари динамичната взаимовръзка между обемите и цените на търгуваните активи. Динамиката на модела се определя от действията на много хетерогенни агенти – търговци, използващи различни стратегии на поведение. Те имат възможност да инвестират в два актива: безрисков актив – пари, и рисков актив – акции. Във всеки период действията на агентите се определят от очаквания, които се моделират и изменят чрез генетични алгоритми, като по този начин се изследва широк набор от възможни пазарни стратегии на поведение. Авторите показват, че тази връзка е комплексно явление и може да възникне на децентрализиран пазар в хода на естествения подбор на стратегии за оптимално поведение на автономни агенти, дори без наличието на изброените допълнителни допускания.

В изследването на *Thurner et al.* (2010) и *Thurner* (2011) се използва агентно-базиран модел, за да се направи задълбочен анализ на влиянието на задлъжнялостта на фирмите върху финансовите пазари и възникването на системен риск. Моделират се няколко типа агенти – инвеститори във финансови активи,

банки, инвеститори в инвестиционни компании и регулатори. Представителите на всеки тип агенти са хетерогенни, като например инвеститорите се различават по инвестиционна стратегия и склонност към поемане на риск, банките – по желанието да отпускат кредит в определени ситуации, и пр. Агентите взаимодействат помежду си на един пазар с един актив, който изплаща дивидент. Инвеститорите са разделени в три групи: информирани (инвестиционни фондове, които правят свой анализ за цената на търгуваните активи), слабо информирани (такива, които търгуват със случайни поръчки, без задълбочен анализ на пазара) и инвеститори в инвестиционни фондове (разчитащи на информираността на инвестиционните фондове). Банките отпускат краткосрочни кредити на информираните инвеститори. Регулаторите не се моделират като отделен агент, а като среда, в която оперират останалите агенти. Резултатите от симулациите показват, че по време на периодите на възход на пазара инвеститорите с по-високо съотношение на дълга към собствения капитал реализират по-високи печалби, което ги прави доминиращи на пазара (т.е. с действията си по покупка или продажба на активи те влияят върху динамиката на пазарната цена на тези активи). В периоди на спад се наблюдава обратната тенденция – инвеститорите с най-високо съотношение „дълг/собствен капитал“ реализират най-големите загуби, тъй като са принудени да продават активите си при спадащи цени. Това от своя страна води до редуващи се дълги периоди с ниска или висока колебливост (*clustered volatility*), като тя е ниска преди кризата, а с настъпването ѝ се увеличава рязко. Кризите, генерирани в модела, по същество са резултат от нелинейната връзка между задлъжнялостта на фирмите и цените на активите, като нивото на съотношението на дълга към собствения капитал е корелирано с вероятността от възникване на системна криза. Авторите стигат до извода, че регулирането на пазара под формата на банкови регулации (споразумения от типа Базел) води до синхронизиране в действията на агентите, което предизвиква нарастване на колебанията на пазара и допълнително влошаване и задълбочаване на кризите.

Други примери за агентно-базирани модели с финансов пазар са тези на LeBaron (2012a) и LeBaron (2012b), в които авторът се е опитал да пресъздаде опростен модел на финансов пазар. Агентите са два типа в зависимост от стратегиите им за управление на портфейлите. Първият тип използва адаптивна стратегия, при

която очакванията за бъдещата възвращаемост на инвестициите се базират на претеглена сума от възвращаемостта на инвестициите през минали периоди. Адаптивните очаквания на тези агенти се формират на базата на инерционни и трендовни механизми, включително и такива, използващи филтъра на Калман. Очакванията на втория тип агенти се определят на базата на фундаментален анализ на динамиката на съотношението „цена/получавани дивиденди“. Авторът дефинира и четири типа стратегии, които използват агентите, като моделът позволява на агентите да се обучават въз основа на реализацията от избраната стратегия. Търгуват се два вида активи – рискови и безрискови. Моделът успява добре да възпроизведе основни стилизирани факти за доходността на активите и за търгуваните обеми на финансовите пазари. Резултатите от симулациите показват, че доминиращата стратегия, избрана от агентите, е да купуват и държат активите, но това не оказва значително въздействие върху цените. Установява се, че агентите, използващи адаптивни и фундаментални стратегии, се базират в очакванията си предимно на скорошни данни и тенденции, което може да обясни наблюдаваните в реалността „балони“ и внезапни сривове в цените на активи. В изследването на LeBaron (2012b) моделът е адаптиран така, че да се пресъздават основните тези в теорията на Мински за нестабилността на финансовите пазари. В него динамиката на цените на активите се характеризира с периоди, през които цените се повишават, следвани от кратковременни резки понижения.

Заклучение

Методите на АИИ предлагат удобно решение за изследване на нестандартни ситуации, при които е трудно да се използват класически подходи за моделиране. Такива са например ситуации, характеризирани се с хетерогенност на икономическите агенти, локални взаимодействия между субектите, непълна информация, наличие на нестандартни пазарни форми и конкурентни структури, агенти с ограничена рационалност на поведението или обучаващи се агенти. Особено перспективни за изследване са приложения, при които са известни подробности за начина на взаимодействие на агентите или за структурата и взаимовръзките между различни интересувачи ни институции, и искаме да установим следствията на макроикономическо ниво.

От наша гледна точка за целите на изследването на актуални

проблеми на българската икономика инструментариумът на многоагентните системи би могъл да бъде приложен за моделиране на пазара на труд и на поведението на банковата система. Тези две области имат важна роля за икономиката на България, но моделирането им трябва да се справи с някои предизвикателства поради голямата степен на хетерогенност на икономическите агенти, участващи в тях, както и поради особената важност на институционалната рамка за функционирането им. Методите на АИИ са подходящи за моделирането на тези области, тъй като постигането на напредък в разбирането за тяхното функциониране и разширяването на възможностите за задълбочено изследване на ролята на различни мерки и регулации биха допринесли за формулирането и осъществяването на ефективна икономическа политика.

Потенциален недостатък на използването и прилагането на многоагентни системи е сложността на специфициране на поведението на агентите и на формата на взаимодействията между тях. Допълнителни трудности могат да възникнат във връзка с проверката на емпиричната валидност на даден модел, както и поради риска от получаване на сложни като структура и трудни за интерпретиране резултати.

Важно е да се отчита, че използването на многоагентни системи за целите на икономическия анализ и моделиране е свързано с предварителни изисквания към квалификацията на кадрите. За изпълнението им ще са необходими ресурси и време преди началото на реално разработване на многоагентна система, което от своя страна е също ресурсоемко.

Решението аналитичният инструментариум на даден изследователски екип да се разшири с многоагентни системи изисква да се развива капацитет за многоагентно моделиране. Подобна инвестиция зависи от очаквания характер на аналитичните нужди на екипа. Многоагентните системи биха имали сравнително ограничена приложимост при оперативни анализи, които да бъдат изготвяни в къси срокове по разнообразни, възникващи с кратко предизвестие теми. Като цяло разработването на модели, базирани на многоагентни системи, би било полезно, ако се целѝ в средносрочен хоризонт да се повиши капацитетът на съответния екип за анализ на ситуации, в които е важно да се отчитат детайлно особеностите в поведението на индивидуалните агенти и характерът на взаимодействията между тях.

Allan, R. J. (2010). Survey of agent based modelling and simulation tools. Technical report, Chadwick Library, Science and Technology Facilities Council, Daresbury Laboratory, Daresbury Science and Innovation Campus, Warrington.

Arciero, L., C. Biancotti, L. D'Aurizio, and C. Impenna (2009). Exploring agent-based methods for the analysis of payment systems: A crisis model for StarLogo TNG. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 12(1), 2.

Ashraf, Q., B. Gershman, and P. Howitt (2011, June). Banks, market organization, and macroeconomic performance: An agent-based computational analysis. Working Paper 17102, National Bureau of Economic Research.

Bernanke, B. S., M. Gertler, and S. Gilchrist (1999). The financial accelerator in a quantitative business cycle framework. In J. B. Taylor and M. Woodford (Eds.), *Handbook of Macroeconomics*, Volume 1 of *Handbook of Macroeconomics*, Chapter 21, pp. 1341–1393. Elsevier.

Berryman, M. (2008). Review of software platforms for agent based models. Technical report, Land Operations Division, Defence Science and Technology Organisation, Australia.

Bersini, H. (2012). UML for ABM. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 15(1), 9.

Boccaro, N. (2010). *Modeling complex systems* (2nd edition ed.). New York: Springer.

Cervenka, R. and I. Trencansky (2007). *The Agent Modeling Language – AML: A Comprehensive Approach to Modeling Multi-Agent Systems*. Whitestein Series in Software Agent Technologies and Autonomic Computing. Birkhäuser Basel.

Chen, S.-H. and C.-C. Liao (2005). Agent-based computational modeling of the stock price–volume relation. *Information Sciences* 170(1), 75–100.

Cincotti, S., M. Raberto, and A. Teglio (2010). Credit money and macroeconomic instability in the agent-based model and simulator Eurace. *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal* 4(2010-26).

Colander, D., H. Follmer, A. Haas, M. Goldberg, K. Juselius, A. Kirman, T. Lux, and B. Sloth (2009, February). The financial crisis and the systemic failure of academic economics. Kiel Working Papers 1489, Kiel Institute for the World Economy.

Colander, D., P. Howitt, A. Kirman, A. Leijonhufvud, and P. Mehrling (2008). Beyond DSGE models: toward an empirically based macroeconomics. *The American Economic Review* 98(2), 236–240.

Dawid, H., S. Gemkow, P. Harting, K. Kabus, M. Neugart, and K. Wersching (2008). Skills, innovation, and growth: an agent-based policy analysis. *Journal of Economics and Statistics* 228(2), 251–275.

Deissenberg, C., S. Van Der Hoog, and H. Dawid (2008). EURACE: A massively parallel agent-based model of the European economy. *Applied Mathematics and Computation* 204(2), 541–552.

Delli Gatti, D., E. Gaffeo, M. Gallegati, and A. Palestrini (2005). The apprentice wizard: monetary policy, complexity and learning. *New Mathematics and Natural Computation (NMNC)* 01(01), 109–128.

Delli Gatti, D., M. Gallegati, B. Greenwald, A. Russo, and J. E. Stiglitz (2010). The financial accelerator in an evolving credit network. *Journal of Economic Dynamics and Control* 34(9), 1627–1650.

Dosi, G., G. Fagiolo, M. Napoletano, and A. Roventini (2013). Income distribution, credit and fiscal policies in an agent-based Keynesian model. *Journal of Economic Dynamics and Control* 37(8);1598–1625.

Dosi, G., G. Fagiolo, and A. Roventini (2010). Schumpeter meeting Keynes: A policy-friendly model of endogenous growth and business cycles. *Journal of Economic Dynamics and Control* 34(9), 1748–1767.

Fagiolo, G. and A. Roventini (2012). Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models. *Revue de l'OFCE* NB° 124(5), 67–116.

Galbiati, M. and K. Soramäki (2011). An agent-based model of payment systems. *Journal of Economic Dynamics and Control* 35(6), 859–875.

Garrido, J. M. (2009). Object Oriented Simulation: A Modeling and Programming Perspective. Dordrecht: Springer.

Grimm, V., U. Berger, F. Bastiansen, S. Eliassen, V. Ginot, J. Giske, J. Goss-Custard, T. Grand, S. K. Heinz, G. Huse, A. Huth, J. U. Jepsen, C. Jørgensen, W. M. Mooij, B. Müller, G. Pe'er, C. Piou, S. F. Railsback, A. M. Robbins, M. M. Robbins, E. Rossmanith, N. Rüger, E. Strand, S. Souissi, R. A. Stillman, R. Vabø, U. Visser, and D. L. DeAngelis (2006). A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling* 198(1–2), 115–126.

Grimm, V., U. Berger, D. L. DeAngelis, J. G. Polhill, J. Giske, and S. F. Railsback (2010). The ODD protocol: A review and first update. *Ecological Modelling* 221(23), 2760–2768.

Hey, T., S. Tansley, and K. Tolle (Eds.) (2009). *The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery*. Redmond, Washington: Microsoft Research.

LeBaron, B. (2012a). Heterogeneous gain learning and the dynamics of asset prices. *Journal of Economic Behavior & Organization* 83(3), 424–445.

LeBaron, B. (2012b). A real Minsky moment in an artificial stock market. unpublished manuscript.

LeBaron, B. and L. Tesfatsion (2008). Modeling macroeconomies as open-ended dynamic systems of interacting agents. *The American Economic Review* 98(2), 246–250.

Lemay, L. and C. L. Perkins (1996). *Teach yourself Java in 21 days*. Indianapolis, IN: Sams.

Lengnick, M. (2011). Agent-based macroeconomics-a baseline model. Economics Working Papers 2011,04, Christian-Albrechts-University of Kiel, Department of Economics.

Lengnick, M., S. Krug, and H.-W. Wohltmann (2012). Money creation and financial instability: An agent-based credit network approach. Technical Report 15, Economics working paper/Christian-Albrechts-Universität Kiel, Department of Economics.

Lorenz, E. N. (1972). Predictability: Does the flap of a butterfly's wings in Brazil set off a tornado in Texas? Speech held at the 139th meeting of the American Association for the Advancement of Science.

Mandel, A., C. Jaeger, S. Fürst, W. Lass, D. Lincke, F. Meissner, F. Pablo-Marti, and S. Wolf (2010, September). Agent-based dynamics in disaggregated growth models. Documents de travail du Centre d'Economie de la Sorbonne 10077, Université Panthéon-Sorbonne (Paris 1), Centre d'Economie de la Sorbonne.

Miller, J. H. and S. E. Page (2007). *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

Napoletano, M., G. Dosi, G. Fagiolo, and A. Roventini (2012). Wage formation, investment behavior and growth regimes: An agent-based analysis. *Revue de l'OFCE* 0(5), 235–261.

Nikolai, C. and G. Madey (2009). Tools of the trade: A survey of various agent based modeling platforms. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 12(2), 2.

Oeffner, M. (2008). Agent-based Keynesian macroeconomics-an evolutionary model embedded in an agent-based computer simulation. Technical Report Paper No. 18199, MPRA.

Raberto, M., A. Teglio, and S. Cincotti (2008). Integrating real and financial markets in an agent-based economic model: an application to monetary policy design. *Computational Economics* 32(1–2), 147–162.

Raberto, M., A. Teglio, and S. Cincotti (2012). Debt deleveraging and business cycles. An agent-based perspective. *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal* 6 (2012–2027).

Railsback, S. F., S. L. Lytinen, and S. K. Jackson (2006). Agent-based simulation platforms: Review and development recommendations. *Simulation* 82(9), 609–623.

Riccetti, L., A. Russo, and M. Gallegati (2012). An agent-based decentralized matching macroeconomic model. *Available at SSRN* 2163581.

Russo, A., M. Catalano, E. Gaffeo, M. Gallegati, and M. Napoletano (2007). Industrial dynamics, fiscal policy and R&D: Evidence from a computational experiment. *Journal of Economic Behavior & Organization* 64(3), 426–447.

Scheinkman, J. A. and M. Woodford (1994). Self-organized criticality and economic fluctuations. *The American Economic Review* 84(2), 417–421.

Tesfatsion, L. and K. L. Judd (Eds.) (2006). *Handbook of computational economics*, Volume 2: *Agent-based computational economics*. North-Holland.

Thurner, S. (2011). Systemic financial risk: agent based models to understand the leverage cycle on national scales and its consequences. OECD/IFP Project on “Future Global Shocks”.

Thurner, S., J. D. Farmer, and J. Geanakoplos (2010, January). Leverage causes fat tails and clustered volatility. Cowles Foundation Discussion Papers 1745R, Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University.

Windrum, P., G. Fagiolo, and A. Moneta (2007). Empirical validation of agent-based models: Alternatives and prospects. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 10(2), 8.

Wu, C. T. (2008). *A comprehensive introduction to object-oriented programming with Java*. New York, NY: McGraw Hill.

ДИСКУСИОННИ МАТЕРИАЛИ

- DP/1/1998 Първата година на паричния съвет в България
Виктор Йоцов, Николай Неновски, Калин Христов, Ива Петрова, Борис Петров
- DP/2/1998 Финансова репресия и рაციониране на кредита в условията на паричен съвет в България
Николай Неновски, Калин Христов
- DP/3/1999 Стимули за инвестициите в България: оценка на нетния данъчен ефект върху тържавния бюджет
Добрислав Добрев, Бойко Ценов, Петър Добрев, Джон Ърст
- DP/4/1999 Два подхода към кризите на фиксираните курсове
Николай Неновски, Калин Христов, Борис Петров
- DP/5/1999 Моделиране на паричния сектор в България, 1913–1945 г.
Николай Неновски, Борис Петров
- DP/6/1999 Паричен съвет и финансови кризи – опитът на България
Румен Аврамов
- DP/7/1999 The Bulgarian Financial Crisis of 1996–1997
Zdravko Balyozov
- DP/8/1999 Икономическата философия на Фридрих Хайек (100 години от рождението му)
Николай Неновски
- DP/9/1999 Паричният съвет в България: устройство, особености и управление на валутния резерв
Добрислав Добрев
- DP/10/1999 Паричните режими и реалната икономика (Емпиричен тест преди и след въвеждането на паричен съвет в България)
Николай Неновски, Калин Христов
- DP/11/2000 The Currency Board in Bulgaria: The First Two Years
Jeffrey B. Miller
- DP/12/2000 Fundamentals in Bulgarian Brady Bonds: Price Dynamics
Nina Budina, Tzvetan Manchev
- DP/13/2000 Изследване на парите в обращение след въвеждането на паричния съвет в България (транзакционно търсене, натрупване, скрита икономика)
Николай Неновски, Калин Христов
- DP/14/2000 Макроикономическите модели на Международния валутен фонд и Световната банка (Анализ на теоретичните подходи и оценка на ефективността от прилагането им в България)
Виктор Йоцов

- DP/15/2000 **Динамика на банковите резерви при паричен съвет**
Борис Петров
- DP/16/2000 **Един възможен подход за изграждане на симулационен макроикономически модел на България**
Виктор Йоцов
- DP/17/2001 **Нагзор на консолидирана основа**
Маргарита Пранджева
- DP/18/2001 **Ригидност (негъвкавост) на реалните работни заплати и избор на паричен режим**
Николай Неновски, Дарина Колева
- DP/19/2001 **The Financial System in the Bulgarian Economy**
Jeffrey Miller, Stefan Petranov
- DP/20/2002 **Forecasting Inflation via Electronic Markets Results from a Prototype Experiment**
Michael Berlemann
- DP/21/2002 **Корпоративен имидж на търговските банки (1996–1997 г.)**
Мирослав Негелчев
- DP/22/2002 **Fundamental Equilibrium Exchange Rates and Currency Boards: Evidence from Argentina and Estonia in the 90's**
Kalin Hristov
- DP/23/2002 **Кредитна активност на търговските банки и рაციониране на кредитния пазар в България**
Калин Христов, Михаил Михайлов
- DP/24/2002 **Ефектът Balassa – Samuelson в България**
Георги Чукалев
- DP/25/2002 **Пари и парични задължения: същност, уговаряне, изпълнение**
Станислав Нацев, Начко Стайков, Филко Розов
- DP/26/2002 **Относно едностранната „евроизация“ на България**
Иван Костов, Яна Костова
- DP/27/2002 **Shadowing the Euro: Bulgaria's Monetary Policy Five Years on**
Martin Zaimov, Kalin Hristov
- DP/28/2002 **Improving Monetary Theory in Post-communist Countries – Looking Back to Cantillon**
Nikolay Nenovsky
- DP/29/2003 **Дуална инфлация в условията на паричен съвет. Преглед на предизвикателства пред присъединяването на България към ЕС**
Николай Неновски, Калина Димитрова

- DP/30/2003** **Exchange Rate Arrangements, Economic Policy and Inflation: Empirical Evidence for Latin America**
Andreas Freytag
- DP/31/2003** **Inflation and the Bulgarian Currency Board**
Stacie Beck, Jeffrey B. Miller, Mohsen Saad
- DP/32/2003** **Banks – Firms Nexus under the Currency Board: Empirical Evidence from Bulgaria**
Nikolay Nenovsky, Evgeni Peev, Todor Yalamov
- DP/33/2003** **Моделиране на инфлацията в България**
Калин Христов, Михаил Михайлов
- DP/34/2003** **Competitiveness of the Bulgarian Economy**
Konstantin Pashev
- DP/35/2003** **Exploring the Currency Board Mechanics: a Basic Formal Model**
Jean-Baptiste Desquilbet, Nikolay Nenovsky
- DP/36/2003** **Съставен конюнктурен индикатор за българската промишленост**
Цветан Цалински
- DP/37/2003** **The Demand for Euro Cash: A Theoretical Model and Monetary Policy Implications**
Franz Seitz
- DP/38/2004** **Равнище на доверие във валутния режим в България през 1991–2003 г. Начален опит за калибрация**
Георги Ганев
- DP/39/2004** **Credibility and Adjustment: Gold Standards Versus Currency Boards**
Jean-Baptiste Desquilbet, Nikolay Nenovsky
- DP/40/2004** **Паричният съвет: „The only game in town”**
Калин Христов
- DP/41/2004** **The Relationship between Real Convergence and the Real Exchange Rate: the Case of Bulgaria**
Mariella Nenova
- DP/42/2004** **Effective Taxation of Labor, Capital and Consumption in Bulgaria**
Plamen Kaloyanchev
- DP/43/2004** **Платежният баланс на Царство България от 1911 г.**
Мартин Иванов
- DP/44/2005** **Beliefs about Exchange-rate Stability: Survey Evidence from the Currency Board in Bulgaria**
Neven T. Valev, John A. Carlson

- DP/45/2005 Възможности за съставяне и използване на баланс на паричния оборот
Методи Христов
- DP/46/2005 The Microeconomic Impact of Financial Crises: The Case of Bulgaria
Jonathon Adams-Kane, Jamus Jerome Lim
- DP/47/2005 Лихвените спредове на търговските банки в България
Михаил Михайлов
- DP/48/2005 Измерване на общата факторна производителност: счетоводство на икономическия растеж за България
Калоян Ганев
- DP/49/2005 Опит за измерване на съществената инфлация в България
Калина Димитрова
- DP/50/2005 Икономически и паричен съюз на хоризонта
Цветан Манчев, Минчо Карабастев
- DP/51/2005 The Brady Story of Bulgaria (in Bulgarian only)
Garabed Minassian
- DP/52/2006 General Equilibrium View on Trade Balance Dynamics in Bulgaria
Hristo Valev
- DP/53/2006 The Balkan Railways, International Capital and Banking from the End of the 19th Century until the Outbreak of the First World War
Peter Hertner
- DP/54/2006 Националният доход на България, 1892–1924 г.
Мартин Иванов
- DP/55/2006 Роля на схемите за компенсиране на инвеститорите в ценни книжа за развитието на капиталовия пазар
Милети Младенов, Ирина Казанджиева
- DP/56/2006 Оптимална парична политика в условията на неопределеност
Недялка Димитрова
- DP/57/2007 Two Approaches to Estimating the Potential Output of Bulgaria (in Bulgarian only)
Tsvetan Tsalinski
- DP/58/2007 Informal Sources of Credit and the “Soft” Information Market (Evidence from Sofia)
Luc Tardieu
- DP/59/2007 Do Common Currencies Reduce Exchange Rate Pass-through? Implications for Bulgaria’s Currency Board
Slavi T. Slavov

- DP/60/2007** **The Bulgarian Economy on Its Way to the EMU: Economic Policy Results from a Small-scale Dynamic Stochastic General Equilibrium Framework**
Jochen Blessing
- DP/61/2007** **Exchange Rate Control in Bulgaria in the Interwar Period: History and Theoretical Reflections**
Nikolay Nenovsky, Kalina Dimitrova
- DP/62/2007** **Different Methodologies for National Income Accounting in Central and Eastern European Countries, 1950–1990**
Rossitsa Rangelova
- DP/63/2008** **A Small Open Economy Model with a Currency Board Feature: the Case of Bulgaria**
Jordan Jordanov, Andrey Vassilev
- DP/64/2008** **Potential Output Estimation Using Penalized Splines: the Case of Bulgaria**
Mohamad Khaled
- DP/65/2008** **Bank Lending and Asset Prices: Evidence from Bulgaria**
Michael Frömmel, Kristina Karagyzova
- DP/66/2008** **Views from the Trenches: Interviewing Bank Officials in the Midst of a Credit Boom**
Neven Valev
- DP/67/2008** **Monetary Policy Transmission: Old Evidence and Some New Facts from Bulgaria**
Alexandru Minea, Christophe Rault
- DP/68/2008** **The Banking Sector and the Great Depression in Bulgaria, 1924–1938: Interlocking and Financial Sector Profitability**
Kiril Danailov Koshev
- DP/69/2008** **The Labour Market and Output in the UK – Does Okun’s Law Still Stand?**
Boris Petkov
- DP/70/2008** **Empirical Analysis of Inflation Persistence and Price Dynamics in Bulgaria**
Zornitsa Vladova, Svilen Pachedjiev
- DP/71/2009** **Testing the Weak-form Efficiency of the Bulgarian Stock Market**
Nikolay Angelov
- DP/72/2009** **Financial Development and Economic Growth In Bulgaria (1991–2006). (An Econometric Analysis Based on the Logic of the Production Function)**
Statty Stattev
- DP/73/2009** **Autonomy vs. Stability: the Relationship between Internal and External Money in Bulgaria (1879–1912)**
Luca Fantacci

- DP/74/2009 **The Size of the Shadow Economy in Bulgaria: A Measurement Using the Monetary Method**
Hildegart Ahumada, Facundo Alvarado, Alfredo Canavese, Nicolás Grosman
- DP/75/2009 **Efficiency of Commercial Banks in Bulgaria in the Wake of EU Accession**
Kiril Tochkov, Nikolay Nenovsky
- DP/76/2009 **Structural Current Account Imbalances: Fixed Versus Flexible Exchange Rates?**
Slavi T. Slavov
- DP/77/2009 **Econometric Forecasting of Bulgaria's Export and Import Flows**
Grigor Stoevsky
- DP/78/2009 **Explanations for the Real Exchange Rate Development in the New EU Member States in Transition**
Galina Boeva
- DP/79/2009 **The Great Depression in the Eyes of Bulgaria's Inter-war Economists (How History of Economic Thought Could Matter for Today's Policy Advice)**
Stefan Kolev
- DP/80/2010 **Моделиране на лихвените проценти по кредитите за предприятия в България**
Михаил Михайлов
- DP/81/2010 **A Small Open Economy Model with Financial Accelerator for Bulgaria: The Role of Fiscal Policy and the Currency Board**
Ivan Lozev
- DP/82/2010 **The Impact of the Global Economic Crisis on Bulgaria's Accession to the Euro Area (*in Bulgarian only*)**
Tsvetelina Marinova
- DP/83/2011 **Are Long-term Inflation Expectations Well-anchored? Evidence from the Euro Area and the United States**
Tsvetomira Tsenova
- DP/84/2011 **Relative Inflation Dynamics in the EU Accession Countries of Central and Eastern Europe**
Hiranya K Nath
Kiril Tochkov
- DP/85/2011 **Trade, Convergence and Exchange Rate Regime: Evidence from Bulgaria and Romania**
Emilia Penkova-Pearson
- DP/86/2011 **Short-Term Forecasting of Bulgarian GDP Using a Generalized Dynamic Factor Model**
Petra Rogleva
- DP/87/2011 **Wage-setting Behaviour of Bulgarian Firms: Evidence from Survey Data**
Ivan Lozev, Zornitsa Vladova, Desislava Paskaleva

- DP/88/2012 **The Predictive Power of Some Market Liquidity Risk Measures: An Empirical Approach**
 Assoc. Prof. Tsvetan Manchev, Ph. D. Daniel Simeonov, Hristo Ivanov, Christian Hausmann
- DP/89/2012 **Survey Evidence on Price-setting Behaviour of Firms in Bulgaria**
 Zornitsa Vladova
- DP/90/2013 **Fiscal Policy and Economic Growth in Bulgaria**
 Kristina karagyozyova-Markowa, Georgi Deyanov, Viktor Iliev
- DP/91/2013 **Финансова „зараза“ и мрежови модели на банковата система**
 Цветелина Ненова