

## САВРЕМЕНИ ПРИСТУП МРЕЖНИМ ЕКСТЕРНАЛИЈАМА

### CONTEMPORARY APPROACH TO MODELING NETWORK EXTERNALITIES

**Снежана Радукић**

Економски факултет Универзитета у Нишу, Србија  
snezana.radukic@eknfak.ni.ac.rs

**Огњен Радовић**

Економски факултет Универзитета у Нишу, Србија  
ognjen.radovic@eknfak.ni.ac.rs

**Горица Бошковић**

Економски факултет Универзитета у Нишу, Србија  
gorica.boskovic@eknfak.ni.ac.rs

**Апстракт:** Уз помоћ рачунара и развојем софтвера, традиционалне методе истраживања се могу допунити новим алтернативним методама. У овом раду се разматрају предности приступа моделирања мрежних екстерналија који се заснивају на агентима, као и имплементација теоријског модела монополског тржишта. Предност овог приступа је у лакоћи креирања једноставних правила и увођењу хетерогених учесника и интеракција у модел. Посебан акценат у раду је стављен на имплементацији дифузионог модела иновације производа. Најпре ће се дати приказ теоријског оквира и проширити модел увођењем различитог скупа хетерогених фактора и ограничења понашања тржишних учесника, како би се приказао развој теоријског модела. У раду ће се анализа базирати на стручној литератури о мрежним екстерналијама. Затим ће се конструисати теоријски модел рачунарски моделиране економије која се заснива на агентима (АБМ) на коме ће симулације бити засноване.

**Кључне речи:** Мрежне екстерналије, тржиште, моделирање које се заснива на агентима

**Abstract:** With increasing computational power and software development comes greater opportunities to supplement traditional research methods with new alternative methods. This paper examines the advantages of an agent-based approach to modeling network externalities, as well as the implementation of the theoretical model of the monopoly market. The advantage of this approach is easily create simple

*rules and introduce heterogeneous participants and interactions in the model. A special emphasis is placed on the implementation of the diffusion model of product innovation. First we will give an overview of the theoretical framework and expand the model by introducing a diverse set of heterogeneous factors and constraints on the behavior of market participants in order to demonstrate the development of the theoretical model. In this paper, the analysis will be based on relevant literature on network externalities. Then we will construct a theoretical model Agent-based Computational Economics on which the simulations will be based.*

**Key Words:** *Network externalities, market, agent-based modeling*

## УВОД

Пре моделирања мрежних екстерналија, најпре треба објаснити процес прихватања нових производа и услуга, односно иновација, од стране купаца. Rogers (2003) је дао теорију дифузије (ширења) иновација. Он је закључио да постоји пет фактора који одређују брзину прихватања иновације и то су: релативна предност, компатибилност, комплексност, верификација и опсервација. Његова теорија, такође, наглашава утицај других људи на доношење одлука у погледу структуре мреже, друштвених норми и лидерства. Главни теоријски допринос је категоризација прихватиоца иновације који се могу поделити по иновативности (мерено према времену прихватања производа). Осим тога, прихватиоци у различитим категоријама разликују се према њиховим социјалним, економским и психолошким карактеристикама. Дакле, категоризација прихватиоца иновације подстиче примену циљаног маркетинга (који узима у обзир потрошачку хетерогеност) и служи као основни оквир за бројне студије које спроводе емпиријску анализу или конструишу рачунарске моделе.

Дифузија (ширење) иновација је скуп приступа који објашњавају начине прихватања иновације од стране различитих учесника у друштвеном систему (Rogers и Seidel 2002; Wejnert 2002). Генерално, постоје два модела дифузије иновација преко друштвених система: ендогени и егзогени. Основне претпоставке на којима се базирају ови модели су да је ендогена дифузија друштвена, док је егзогена дифузија атомистичка, односно појединачна. У раду ће се дати критички осврт на ове претпоставке.

## 1. Економска теорија мрежних екстерналија

Успостављање неке мреже базира се на постојању мрежних екстерналија. Овај концепт се често појављује у економској литератури, а пре свега, у литератури о индустријској организацији и јавним финансијама (Katz и Shapiro, 1986; Schamlensee, 1995; Economides, 1996).

Постојање мрежне екстерналије подразумева повећање вредности производа или услуге за потрошаче уколико се повећава број корисника мреже, тако да

знатан део вредности производа зависи од њихових корисника и долази до растућих приноса. Често се овај појам везује за производе који користе дигиталну технологију, јер је њихова значајна карактеристика да је тражња за њима већа са порастом броја потрошача (употреба мобилних телефона, интернета, оперативних система на рачунарима и сл.). Ови производи доносе користи потрошачима због њихове компатибилности са другим производима и корисности у употреби. Концепт мрежних екстерналија у случају интернета познат је под називом Metcalfeов закон, према коме вредност неке мреже је пропорционалан квадрату његових корисника (Shapiro и Varian, 1999, стр. 184).

Farrell и Saloner (1985) и Katz и Shapiro (1986) су први дали економску анализу мрежних екстерналија. Они су класификовали мрежне екстерналије у две групе: директне и индиректне. Директне мрежне екстерналије постоје када се величина мреже повећава повећањем броја нових корисника. У мрежи постоји интеракција и комплементарност међу корисницима истог производа или услуге. Индиректне мрежне екстерналије постоје када повећање величине мреже повећава понуду производа или услуга доступних корисницима мреже.

Дакле, мрежне екстерналије постоје када тражња појединца зависи од куповине производа или услуге од стране других појединаца и оне могу бити позитивне или негативне. Позитивна мрежна екстерналије се јавља када потрошач жели да купи неко добро делимично и због тога што други већ поседују то добро. На овај начин тражња утиче на промену цене, односно тражња постаје еластичнија. Ова појава је позната као „ефекат стампеда“ (*bandwagon effect*) и има значајан утицај на произвођаче и њихове стратегије формирања цена.

Међутим, постоје и негативне мрежне екстерналије, када потрошач жели да купи ексклузивно или уникатно добро. Тражена количина „снобовског добра“ је утолико већа што је мање потрошача овог производа. Ова добра показују престиж, статус и ексклузивност. Ова појава је позната као „снобовски ефекат“ и утиче на смањење еластичности тражње, што омогућава произвођачу повећање цена производа и услуга.

Мрежне екстерналије дају динамички аспект доношењу одлука како потрошача (корисника мреже) о уласку у мрежу, тако и произвођача ових производа и услуга о производњи (Klenow, 2002). Потрошач при уласку у мрежу узима у обзир будућу величину мреже, а на основу тога и произвођач улаже у изградњу мреже, у циљу веће зараде.

Већа је ефикасност тржишта са мрежним екстерналијама што се више корисника укључи у исту мрежу (један производ), него сегментисаног тржишта са много мрежа (конкурентно тржиште). Успостављањем мреже, тржиште фаворизује доминантан производ на штету осталих производа.

Према томе, поузданост и прихватљивост су основни разлози за ширење мреже. Међутим, наведени разлози нису довољни, јер величина мреже захтева међузависност тражње, што значи да мрежа мора имати минималну потребну

величину пре него што се оствари равнотежа. Economides и Himmelberg (1995) минималну величину мреже називају критичном масом.

Критична маса или почетна база има битну улогу на почетку развоја мреже. Критична маса се дефинише као „мањи сегмент популације који жели дати велики допринос колективној акцији, док већина ради мало или ништа“ (Oliver, Marwell и Teixeira, 1985). Концепт критичне масе се назива парадоксом зато што многи потрошачи најпре не желе да купе производ, јер је почетна база релативно мала због недовољног броја потрошача тог производа. Међутим, уз одређени обим трошкова очекује се повећање нивоа продаје производа. Дакле, постоје бројне равнотеже које зависе од координације потрошача и произвођача (Economides и Himmelberg, 1995, стр. 7).

Критична маса корисника ће се постићи када зависност тражње између произвођача и потрошача не буде више економски значајна и када се потрошачева очекивана корисност не буде знатније мењала са новим члановима мреже (Osterberg и Thomson, 1998). Дакле, потрошачеве користи ће се повећавати када све више потрошача улази у мрежу, док ће се произвођачеве користи повећавати када све више потрошача користи производ.

Код производа са мрежним екстерналијама потребна су на почетку велика улагања пре него што прикључивање тој мрежи постане комерцијално исплативо. Према томе, коришћење и распрострањеност мреже је комплексно питање, пошто међузависност тражње представља препреку све док мрежа не достигне критични масу. Према Katz-у и Shapiro-у (1986), раст мреже по својој природи може бити самоиспуњавајући фактор.

## 2. Моделирање које се заснива на агентима (АБМ)

Моделирање које се заснива на агентима (АБМ) је рачунарски метод којим се систем моделира као скуп аутономних ентитета који самостално одлучују и међусобно делују на нетривијалан начин. АБМ се састоји од скупа агената и оквира за симулацију њихових интеракција и одлучивања. Ефекат међудејства компоненти на нижим нивоима организације доводи до настајања новог квалитета на вишим нивоима организације. Међутим, АБМ се најчешће користи: (1) када се у постојећим класичним техникама моделирања (моделирање засновано на једначинама) индивидуална својства компоненти не могу превести у системске варијабле и (2) када желимо да боље разумемо како индивидуална својства утичу на особине целокупног система. Предности моделирања које се заснива на агентима у односу на остале технике моделирања, Bonabeau (2002) сумира у три ставке:

- **АБМ обухвата емергентне феномене.** Емергентни феномени настају као последица интеракција основних компоненти система. По дефиницији, они се не могу свести на основне делове система нити се могу предвидети на основу појединачних особина.

- **АБМ пружа природан опис система.** У већини случајева, АБМ је најприроднији начин описа комплексних система са хетерогеним компонентама.
- **АБМ је флексибилан.** Флексибилност АБМ се може запазити у више димензија: лако је додавати нове агенте у АБМ; лако је додавати нова понашања постојећих агената; лако је груписати агенте и увести нова правила њиховог организовања.

### 3. АБМ у економији

Полазећи од резултата нових економских теорија и прихватањем приступа моделирања комплексних адаптивних система који се заснива на више агената, настала је нова истраживачка област економије - рачунарски моделирана економија која се заснива на агентима (АСЕ - *Agent-based Computational Economics*). Основна идеја овог приступа је да се помоћу рачунарске симулације понашања економских актера (агената) боље разумеју економски механизми, односно агент базирана рачунарска економија (АСЕ) проучава економију моделовану као еволуирајући систем аутономних интерактивних агената. АСЕ истраживачи се ослањају на рачунарски оквир у проучавању еволуције децентрализоване тржишне економије под контролисаним експерименталним условима. Како истиче Tesfatsion (2003, стр. 263), „децентрализована тржишна економија је комплексни адаптивни системи састављен од великог броја паралелних агената међусобно повезаних локалним интеракцијама“.

Посматрање економије као само-организујућег система није ново, јер су се још Smith и Hayek тиме бавили. Ипак, новина код АСЕ истраживања је интензивно коришћење нових и моћних рачунарских алата, посебно објектно-оријентисаног програмирања. Ови алати омогућују АСЕ истраживачима да прошире ранија истраживања (Arthur, 1991) у четири нова правца (Tefatsion, 2003):

- Економски системи се рачунарски конструишу и насељавају хетерогеним агентима, са одређеним међусобним интеракцијама као и интеракцијама агената са околином. Ово захтева да агенти имају способност учења о окружењу из разних извора (као што су прикупљене информације, ранија искуства, друштвена мимикрија и намерно експериментисање новим идејама); способност измене веровања и преференција као последицу учења.
- Дозвољава се адаптивно понашање агената и интеракција у овим економским системима. Агенти непрекидно прилагођавају своје понашање као одговор на интеракције међу агентима и између агента и окружења, а у циљу задовољавања својих потреба и жеља. На основу тога, и читав економски систем показује особине само-организованости.
- Еволуциони процес, пре свега, врши утицај на атрибуте који одређују понашање агената, па самим тим, и на кретање целе популације. Еволуционим процесом се формира следећа генерација агената са новим правилима понашања. На овај начин, у једном непрекидном експерименту, агенти економског система коеволуирају.

- Економски систем се развија у времену, постаје опсервабилан, али и без спољног утицаја. Када се почетни услови поставе од стране моделара, сви наредни (сукцесивни) догађаји настају под утицајем интеракција између агената и између агената и окружења.

Моделирање економских појава помоћу скупа агената представља својеврстан оквир за проверу нових макроекономских теорија (Tesfatsion, 2003; Axelrod i Tesfatsion, 2006). Овакав приступ има више значајних особина. Прво, на један интуитиван и једноставан начин описује динамичко понашање већине економских појава. Друго, дозвољава да се експериментише са променама особина појединих економских чинилаца и посматрају се промене на макро нивоу модела.

„Попут једног контролисаног лабораторијског експеримента“, АСЕ моделари почињу конструкцијом иницијалне популације агената једног вештачког економског система (Tesfatsion, 2003). Ови агенти могу бити како економски агенти тако и агенти који представљају неке друге социјалне феномене или друге феномене из окружења. АСЕ моделари постављају почетно стање економије додељивањем иницијалних атрибута агентима система. Иницијални атрибути укључују карактеристике агената, опште прихваћене норме понашања, интерне моделе понашања (укључујући моделе комуникације и учења) и интерно упамћене податке о себи и другим агентима. Овакав економски систем се током времена развија (еволуира) без даље интервенције моделара.

Класична економска теорија сматра да не постоји директна интеракција између агената, већ само индиректна, преко економских варијабли (као што су тржишне цене или каматне стопе). Агенти доносе одлуке у изолацији, само на основу тржишних информација (јавних и приватних). У стварности, економски агенти међусобно комуницирају и уче једни од других. Поред тога, агенти расуђују из акција других агената. У великом броју ситуација, агрегација понашања може да створи одређене структуре и правилности тако да колективно понашање може изгледати „рационално“ и поред тога што појединци то нису (Hildenbrand, 1994).

#### 4. Једноставни модел симулације мрежних екстерналија

У овом раду креиран је модел ширења иновације кроз мрежу, комбинацијом дискретног Басовог модела (Bass, 1969) са прагом и модела једноставног ширења „заразе“ (*contagion* модел) кроз мрежу. У моделима са прагом (*threshold models*) одлука купца о куповини неког производа зависи од тога колико га је других купило. Ово је механизам са позитивном повратном спрегом, што више људи купи производ то је већа перцепција других људи да је производ вреднији за куповину (Arthur, 1991). На пример, што више пријатеља има мобилни телефон то је и потреба за његовом набавком већа. Слично, овај модел је сличан епидемиолошким моделима у којима се инфекција преноси од особе до особе.

Различити људи имају различите вредности прага. Поред тога, људи са истом вредношћу прага могу прихватити нови производ касније у зависности од прихватања производа у свом социјалном домену. Bass (1969) је креирао класичан модел потребног времена до првобитне куповине нових производа. Он је поделио купце на две групе – „иноваторе“ и „имитаторе“. На иноваторе не утичу други, тј. њихов праг је нула. Rogers (2003, стр. 281–282) је поделио купце нових производа (*adopters*) на пет група: иноваторе (2,5% популације), ране прихватиоце (13,5% популације), рану већину (34% популације), касну већину (34% популације) и оне који заостају (16% популације).

У циљу репродукције основних карактеристика персоналних и друштвених мрежа, сваки агент има свој „социјални домен“ који се формира са варијабилним бројем веза са другим агентима. Повезани агенти су суседни агенти у мрежи. Током живота појединаца, социјални домени се мењају, међутим, у нашем моделу посматрамо релативно краћи временски период у коме можемо да сматрамо да се социјални домен не мења.

Први корак у поступку симулације је стварање (друштвене) мреже по моделу преференцијалног додавања чворова (Albert и Barabasi, 2000). Овим моделом се креира мрежа са малим бројем хабова, тј. чворова који су повезани са великим бројем других чворова. Односно, мрежа поседује велики број слабо повезаних чворова. Нови производ се уводи за  $M$  потрошача у тренутку  $t = 0$ .

У почетку сви потрошачи нису прихватиоци новог производа. Ако потрошач прихвати производ, он постаје „заразни“ прихватилац. У имплементираном моделу, потрошач који је „заражен“ новим производом не може касније да се „опорави“. Вероватноћа да потрошач прихвати нови производ може се исказати следећим изразом:

$$\text{Prob} \left( \begin{array}{c} \text{агент } j \text{ прихвата пр.} \\ (t, t + \Delta t) \end{array} \right) = \left( p + q \frac{i_j(t)}{n} + w a_j(t) \right) \Delta t - o_j(\Delta t), \Delta t \rightarrow 0$$

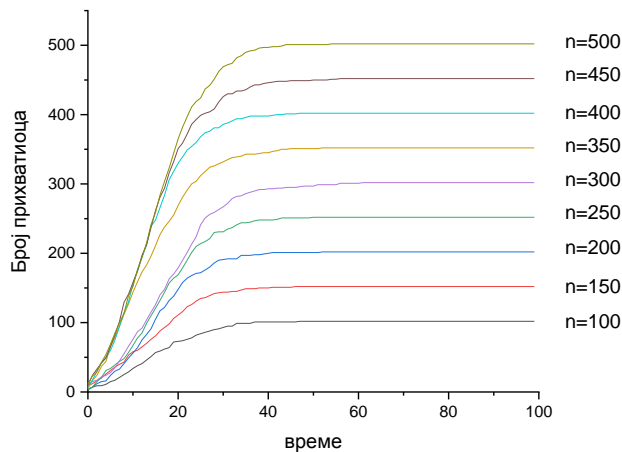
где је  $i_j(t)$  укупан број прихватилаца производа у тренутку  $t$ ,  $n$  укупан број агената,  $a_j(t)$  број прихватилаца производа повезаних са агентом  $j$  у тренутку  $t$ , а  $o_j(t)$  праг прихватања производа агента  $j$  у тренутку  $t$ . За разлику од модела „инфекције“, у овим моделима сваки агент има различит праг, ако проценат прихватилаца у социјалном кругу агента прелази тај праг, агент прихвата нови производ. Иноватори имају најнижи праг. Нормализација укупног броја прихватилаца помоћу  $n$  (укупног броја) агената омогућује посматрање и поређење ефекта величине мрежне структуре на модел. Параметри модела  $p$ ,  $q$  и  $w$  означавају следеће ефекте:

$p$  - "Константни ефекат" ("ефекат масовних медија") - ефекат који се односи на све агенте и има исти ефекат у свим временским периодима симулације, попут јавног оглашавања или владиних мера.

$q$  - "Ендогени ефекат" ("информациона каскада", "мрежна екстерналија") - не-просторни кумулативни ефекат предности који обухвата све агенте и представља функцију популарности производа, попут позиције на листи бестселера или рангирању у алгоритмима за претраживање као што је *PageRank*.

$w$  - "Кохезиони ефекат" ("мрежна дифузија", "заразност" или "локалне мрежне екстерналије") – „осетљивост“ агента на суседе. Слично је "ендогеном" ефекту, али се односи само на суседне агенте (нпр. блиске пријатеље), а не на читаву популацију. Овај ефекат одражава преношење информација („*word of mouth*“).

**Графикон 1.** Промена броја прихватиоца новог производа током времена према величини мреже ( $n$ )



**Извор:** Приказ аутора

У овом истраживању извршен је различит број симулација имплементираног модела који се заснива на агентима. У првој анализи, симулације су извршене са различитим бројем агената (од 100 до 500). У овом раду анализирамо како величина мрежне структура утиче на брзину дифузије једне иновације производа у популацији агената које карактеришу индивидуални прагови прихватања производа. Сваки агент на почетку симулације добија праг прихватања случајном униформном расподелом и он остаје константан током симулације. На Графикону 1 су приказани резултати симулације за различите величине мреже (од 100 до 500 агената).

Резултати симулације указују на појаву познате S-криве. Брзина потпуног прихватања новог производа повећава се са порастом величине мреже. Из приложеног описа и резултата може се закључити да су модели који се заснивају на агентима погодни за представљање модела заснованих на прагу вредности и мрежних интеракција. Модели који се заснивају на агентима



интегришу интеракције на локалном (микро) нивоу персоналних мрежа и глобалне (макро) интеракције на нивоу целе друштвене мреже. Једноставност овог моделирања се постиже и лакоћом употребе АБМС програмских пакета. У овом истраживању, целокупно кодирање извршено је у програмском пакету *Netlogo*.

## ЗАКЉУЧАК

Све већи напредак у информационо-комуникационим технологијама допринео је развоју нових производа, као што су платне картице, софтверски производи и слично. Разлог све веће распрострањености наведених производа је њихова ефикасност, али њихова примена у пуном обиму захтева време. Зато је у раду наглашен значај мрежних екстерналија у процесу примене иновација, па су истакнуте две карактеристике мрежних екстерналија. Прво, код мрежних екстерналија неопходно је постићи критичну масу корисника како би употреба била исплатива. Друго, насупротив постојаности навика у коришћењу традиционалних производа, неопходна је промена навика како би се лакше достигла критична маса потребна за изградњу мреже корисника производа. Промоцијом иновација број корисника производа би се могао знатно повећати и на тај начин створити критична маса која је потребна за постизање позитивних ефеката мрежних екстерналија.

Основна идеја приступа моделирања који се заснива на агентима је да се помоћу рачунарске симулације понашања економских актера (агената) боље разумеју економски механизми. Моделирање економских појава помоћу скупа агената има две значајне карактеристике: 1) на један интуитиван и једноставан начин описује динамичко понашање већине економских појава и 2) дозвољава да се експериментише са променама особина појединих економских чинилаца што изазива промене на макро нивоу модела.

У овом раду креиран је модел ширења иновације кроз мрежу комбинацијом модела са прагом и модела ширења „инфекције“. За разлику од модела „инфекције“, у моделима са прагом прихватања иновација сваки агент има различит праг, ако проценат прихватиоца у социјалном кругу агента прелази тај праг, агент прихвата нови производ. Иноватори имају најнижи праг. Нормализација укупног броја прихватилаца помоћу  $n$  (укупног броја) агената омогућује посматрање и поређење ефекта величине мрежне структуре на модел и параметри модели означавају следеће ефекте: константни (ефекат који се односи на све агенте), ендегени (обухвата све агенте и представља функцију популарности производа) и кохезиони ефекат (слично "ендогеном" ефекту, али се односи само на суседне агенте, а не на читаву популацију).

У овом раду смо анализирали како величина мрежне структура утиче на брзину дифузије једне иновације производа у популацији агената које карактеришу индивидуални прагови прихватања производа. Брзина потпуног прихватања новог производа повећава се са порастом величине мреже. Из приложеног описа

и резултата може се закључити да су модели који се заснивају на агентима погодни за представљање модела базираних на прагу вредности и мрежних интеракција и интегришу интеракције како на локалном (микро) нивоу персоналних мрежа, тако и глобалне (макро) интеракције на нивоу целе друштвене мреже.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Albert, R., и Barabási, A.-L. (2002). Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, 74, 47–97.
- [2] Arthur, W. B. (1991). On designing economic agents that behave like human agents: A behavioral approach to bounded rationality. *American Economic Review*, 81, 353–359.
- [3] Axelrod, R., и Tesfatsion, L. (2006). A Guide for newcomers to Agent-Based Modeling in The Social Sciences. *Handbook of Computational Economics*, Volume 2: Agent-Based Computational Economics, Handbooks in Economics Series, North-Holland.
- [4] Bass, F. M. (1969). A New Product Growth for Model Consumer Durables. *Management Science*, 50, 1825-1832.
- [5] Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems, *PNAS*, 99(3), 7280-7287
- [6] Economides, N. (1996). Economics of Networks. *International Journal of Industrial Organization*, 14, 673-700.
- [7] Economides, N., и Himmelberg, Ch. (1995). Critical Mass and Network Evolution in Telecommunications. *Toward a Competitive Telecommunication Industry: Selected Papers for the 1994 Telecommunications Policy Research Conference*. (47-63). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- [8] Farrell, J., и Saloner, G. (1985). Standardization, Compatibility and Innovation. *RAND Journal of Economics*, 16, 70-83.
- [9] Hildenbrand, W. (1994). *Market Demand – Theory and Empirical Evidence*. Princeton: Princeton University Press.
- [10] Katz, M. L., и Shapiro, C. (1986). Technology Adoption in the Presence of Network Externalities. *Journal of Political Economy*, 94, 822-841.
- [11] Klenow, J. P. (2002). Evidence on Learning and Network Externalities in the Diffusion of Home Comp. *Federal Reserve Bank of Minneapolis and NBER*.
- [12] Oliver, P. E., Marwell, G., и Teixeira, R. (1985). A theory of the critical mass. Interdependence group heterogeneity, and the production of collective action. *American Journal of Sociology*, 91, 522-556.
- [13] Osterberg, W., и Thomson, J. (1998). Network Externalities: The Catch-22 of Retail Payment Innovations. Economic Commentary, *Federal Reserve Bank of Cleveland*.
- [14] Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations*. 5th ed. New York: Free Press.
- [15] Rogers, E. M., и Seidel, N., (2002). “Diffusion of News of the Terrorist Attacks of September 11, 2001.” *Prometheus* 20, 209–19.

- [16] Shapiro, C., и Varian, H. R. (1999) *Information Rules: A Strategic Guide to the Network Economy*. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press.
- [17] Tesfatsion, L. (2003). Agent-based computational economics: modeling economies as complex adaptive systems, *Information Sciences*, 149(4), 262-268.
- [18] Wejnert, B. (2002). Integrating Models of Diffusion of Innovations: A Conceptual Framework. *Annual Review of Sociology*, 28, 297–326.

## SUMMARY

Observing the economy as a self-organizing system is not new, but the novelty in Agent-based Computational Economics (ACE) research is the intensive use of new and powerful computing tools that set the initial state of the economy by assigning initial attributes to system agents. Initial attributes include the characteristics of agents, generally accepted behavioral norms, internal behavior patterns (including communication and learning models) and internally-remembered information about themselves and other agents. Such an economic system evolves over time without further intervention by the modeler.

The classical economic theory considers that there is no direct interaction between agents, but only indirect, through economic variables (such as market prices or interest rates). In reality, economic agents communicate and learn from one another. In addition, agents are judged by actions of other agents. In a large number of situations, behavioral aggregation can create certain structures and regularities, so that collective behavior can look "rational" even though individuals are not.

In this study, a number of simulations of the implemented agent-based model with 100 to 500 agents were performed. In this paper, we analyzed how the size of the network structure influences the rate of diffusion of one product innovation in a population of agents characterized by individual product adoption thresholds. The speed of fully adopting a new product increases with increasing network size. Based on the results, it can be concluded that agent-based models are suitable for presenting models based on threshold values and network interactions at both the local (micro) level of personal networks and global (macro) interactions at the level of the entire social network.