

ЭВОЛЮЦИЯ МАКРОГЕНЕРАЦИЙ: МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД

КОНОНОВА Е. Ю., АКУЛОВ Н. В.

УДК 330.4:519.25

Кононова Е. Ю., Акулов Н. В. Эволюция макрогенераций: мультиагентный подход

Предложенный в работе подход к моделированию макроэкономической динамики как процесса смены макрогенераций предусматривает предварительный анализ макродинамики с использованием производственной функции, обоснование модели отдельной макрогенерации, выявление макрогенераций и оценку их параметров, анализ и интерпретацию их эволюционных фаз. Предварительное исследование позволило сформулировать предположения мультиагентной модели макроэкономической динамики. Для их проверки в программной среде NetLogo была построена модель эволюции макрогенераций. В ходе моделирования были получены макроэффекты, не заложенные в поведение каждого отдельного агента, экспериментально подтверждены теоретические предположения относительно моментов зарождения и динамики макрогенераций. Полученные результаты в полной мере согласуются с теоретическими предпосылками и выводами предшествующих исследований и позволяют говорить о пригодности данного подхода для анализа эволюционных процессов в экономике.

Ключевые слова: экономический рост, эволюционная теория, мультиагентная модель.

Рис.: 4. **Формул:** 1. **Библ.:** 12.

Кононова Екатерина Юрьевна – кандидат экономических наук, доцент, кафедра экономической кибернетики и прикладной экономики, Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина (пл. Свободы, 4, Харьков, 61022, Украина)

E-mail: kateryna.kononova@gmail.com

Акулов Николай Викторович – старший преподаватель, кафедра экономической кибернетики и прикладной экономики, Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина (пл. Свободы, 4, Харьков, 61022, Украина)

E-mail: akulov.nikolay@gmail.com

УДК 330.4:519.25

Кононова К. Ю., Акулов М. В. Еволюція макрогенерацій: мультиагентний підхід

Запропонований у роботі підхід до моделювання макроекономічної динаміки як процесу зміни макрогенерацій передбачає попередній аналіз макродинамики з використанням виробничої функції, обґрунтування моделі окремої макрогенерації, виявлення макрогенерацій та оцінку їх параметрів, аналіз та інтерпретацію їх еволюційних фаз. Попереднє дослідження дозволило сформулювати припущення мультиагентної моделі макроекономічної динаміки. Для їх перевірки в програмному середовищі NetLogo було побудовано модель еволюції макрогенерацій. У ході моделювання були отримані макро ефекти, що не закладені у поведінку кожного окремого агента, експериментально підтверджені теоретичні припущення щодо моментів зародження і динаміки макрогенерацій. Отримані результати повною мірою узгоджуються з теоретичними передумовами і висновками попередніх досліджень і дозволяють говорити про придатність даного підходу для аналізу еволюційних процесів в економіці.

Ключові слова: економічне зростання, еволюційна теорія, мультиагентна модель.

Рис.: 4. **Формул:** 1. **Бібл.:** 12.

Кононова Катерина Юріївна – кандидат економічних наук, доцент, кафедра економічної кибернетики та прикладної економіки, Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна (пл. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна)

E-mail: kateryna.kononova@gmail.com

Акулов Микола Вікторович – старший викладач, кафедра економічної кибернетики та прикладної економіки, Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна (пл. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна)

E-mail: akulov.nikolay@gmail.com

UDC 330.4:519.25

Kononova K. Yu., Akulov M. V. Evolution of Macro-generations: Multi-agent Approach

The article offers an approach to modelling macro-economic dynamics as a process of change of macro-generations, which envisages a preliminary analysis of macro-dynamics with the use of the production function, justification of the model of an individual macro-generation, revelation of macro-generations and assessment of their parameters, analysis and interpretation of their evolution phases. The preliminary study allowed formulation of an assumption of a multi-agent model of macro-economic dynamics. In order to test them in the NetLogo software environment, the article builds up a model of evolution of macro-generations. In the course of modelling the article obtains macro-effects, which are not available in behaviour of each individual agent, experimentally confirms theoretical assumptions with respect to the moments of origination and dynamics of macro-generations. The obtained results completely agree with theoretical prerequisites and conclusions of preceding studies and allow making a conclusion about suitability of this approach for analysis of evolution processes in economy.

Key words: economic growth, evolution theory, multi-agent model.

Pic.: 4. **Formulae:** 1. **Bibl.:** 12.

Kononova Kateryna Yu. – Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Department of Economic Cybernetics and Applied Economics, V. N. Karazin Kharkiv National University (pl. Svobody, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine)

E-mail: kateryna.kononova@gmail.com

Akulov Mykola V. – Senior Lecturer, Department of Economic Cybernetics and Applied Economics, V. N. Karazin Kharkiv National University (pl. Svobody, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine)

E-mail: akulov.nikolay@gmail.com

Эволюционная экономика основывается на классических принципах наследственности, изменчивости и естественного отбора, причем под естественным отбором понимается выбор «некоторого подходящего варианта из множества допустимых» [1]. Она рассматривает экономическое развитие как необратимый процесс нарастания сложности, многообразия и продуктивности производства за счет периодически повторяющейся смены технологий, продуктов, организаций и институтов [2]. Важно, что человеческий фак-

тор является ключевым в эволюционной концепции, в качестве субъектов экономической деятельности здесь выступают уникальные агенты (с множеством разнообразных связей), осведомленность которых ограничена, а поведение обусловлено средой и не направлено на максимизацию прибыли.

Представления об основных свойствах экономического поведения агентов получили свое обобщенное системное выражение в модели REMM¹. Аббревиатура была предложена К. Бруннером и У. Меклингом [3], ко-

торые отмечают, что максимизирующий агент признает ограниченность всех ресурсов, включая собственное время. Он стремится обеспечить себе наилучшее положение при тех ограничениях, с которыми сталкивается, в условиях несовершенной информации. При этом агент осознает, что процедура выбора и принятия решения связана с издержками.

Для моделирования поведения экономических агентов может быть использован мультиагентный подход. Агентная модель представляет исследуемую систему в виде совокупности отдельно специфицируемых активных подсистем, называемых агентами. Последние описываются рядом свойств: автономное поведение, способность к принятию решений в соответствии с некоторым набором правил, возможность взаимодействия с другими агентами и внешней средой, способность эволюционировать. Агенты функционируют по своим законам асинхронно, централизованное управление не задается. Это обуславливает широкое использование мультиагентных моделей для исследования децентрализованных систем, законы функционирования которых являются результатом индивидуальной активности агентов.

Задачей данного исследования является моделирование экономической макродинамики как процесса смены макрогенераций на основе мультиагентного подхода. Под термином «макрогенерация» будем понимать макроэкономическую систему, которая базируется на определенной технологии или совокупности технологий и участвует в производстве национального продукта. При этом отдельные макрогенерации эволюционируют и участвуют в «естественном отборе», а вся совокупность макрогенераций в течение года производит ВВП экономики этого года. В [4] на основе предпосылок В. Маевского [2] и С. Глазьева [5] нами были сформулированы основные предположения модели смены макрогенераций (МГ):

1. Макроуровень экономики может быть представлен как совокупность макрогенераций, участвующих в создании ВВП.

2. Каждая макрогенерация описывается эмбриональной фазой, фазой роста, насыщения и спада.

3. Новая макрогенерация зарождается, когда текущая макрогенерация достигает предела своих возможностей (фазы насыщения).

4. Перераспределение ресурсов между макрогенерациями происходит в соответствии с фазами их жизненного цикла: а) короткой эмбриональной стадии, на которой вклад новой МГ в экономику несущественен; б) стадии быстрого роста, когда новая МГ начинает активно забирать ресурсы у своих предшественниц; в) стадии насыщения, когда текущая МГ достигает предела своих возможностей; г) длительной стадии спада, когда происходит окончательное перераспределение ресурсов между МГ.

Для построения модели было предпринято предварительное исследование дрейфа параметров производственной функции Кобба – Дугласа (ПФКД) на основе статистических данных о развитии экономики США за 1930 – 2010 гг. [6 – 8]. Полученные результаты (рис. 1), свидетельствуют о том, что:

1) в динамике параметров ПФКД наблюдается выраженная цикличность;

2) во всех экспериментах параметр α на некоторых интервалах уходит в недопустимую область;

3) параметры α и A изменяются в противофазе.

Для объяснения полученных результатов с точки зрения эволюционной теории нами было сделано предположение о том, что на тех интервалах, где ПФКД не в состоянии адекватно описать экономическую ситуацию, происходит смена макротехнологий. При этом периоды возрастания коэффициента α (когда происходит насыщение производства капиталом) соответствуют фазе роста макрогенерации, а на тех интервалах, где α приобретает отрицательные значения, происходит смена технологий и перераспределение факторов производства [4].

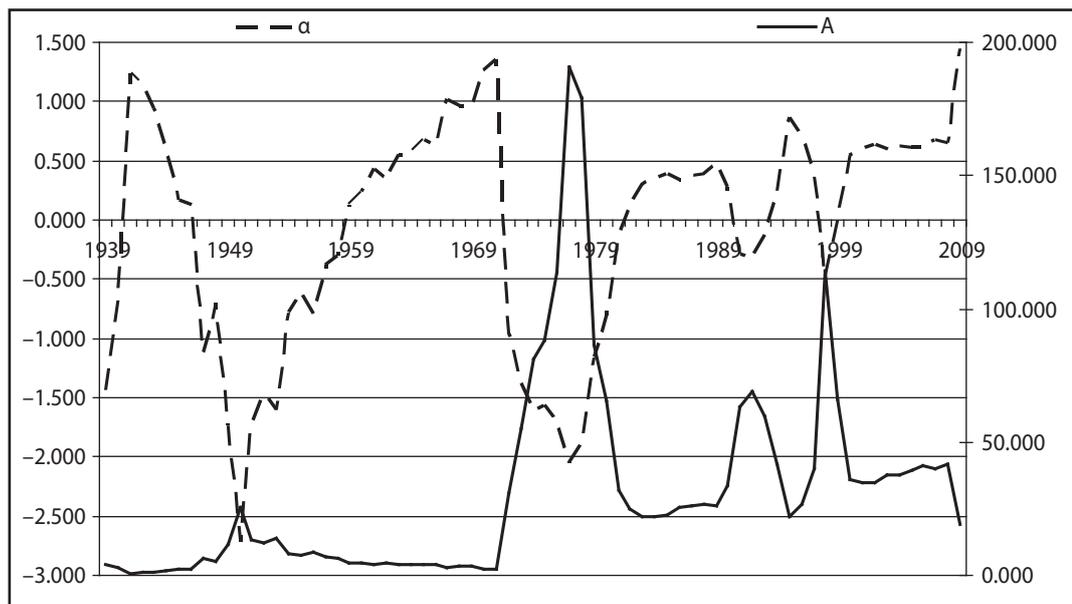


Рис. 1. Дрейф параметров α и A

¹ Resourceful, Evaluative, Maximizing Man – изобретательный, оценивающий, максимизирующий человек.

Для описания жизненного цикла МГ нами была выбрана логнормальная функция, в которую были введены дополнительные параметры для расширения возможностей параметрической настройки модели. Для оценки параметров МГ на основе данных о развитии экономики США за 1930 – 2010 гг. [6] был использован критерий минимизация суммы квадратов отклонений значений модельного ряда от фактических данных:

$$z(\tau, M, \mu, \sigma) = \min \left\{ \sum_{t=1}^{80} \left(\sum_{i=1}^5 \frac{M_i}{t - \tau_i} e^{-\frac{[\ln(t - \tau_i) - \mu_i]^2}{2\sigma_i^2}} - y_t \right)^2 \right\},$$

где τ – начало эмбриональной фазы, μ и σ – технологический потенциал отдельной МГ, M корректирует амплитуды функций, y_t – t -ое наблюдение статистического ряда ВВП [6].

Анализ рис. 2 свидетельствует о высоком качестве аппроксимации ($R^2 = 0,97$) и показывает, что МГ зарождаются в окрестности максимумов своих предшественниц и проходят все фазы жизненного цикла. При этом интервалы между моментами зарождения и длительность МГ сокращаются.

Анализ дрейфа коэффициента эластичности капитала α (рис. 1) и динамики МГ (рис. 2) показывает, что: 1) фазе роста i -ой МГ соответствует возрастание параметра α ; 2) фазе насыщения i -ой МГ – локальный максимум α ; 3) появлению $(i + 1)$ -ой МГ соответствует убывание α ; 4) переходу от i -й к $(i + 1)$ -й МГ – локальный минимум α [9].

Чтобы связать микро- и макроуровни экономической эволюции, нами была поставлена задача моделирования динамики ВВП виде набора МГ, возникающих в результате взаимодействия автономных агентов. Полученные ранее результаты позволили нам сформулировать следующие **предположения мультиагентной модели**:

1. Модельный мир состоит из множества агентов, описываемых производственными функциями Кобба-Дугласа. Агенты способны рождаться и умирать в зависимости от эффективности своего функционирования (агент умирает, если его капитал (K) падает ниже допустимого уровня (K_{min}) и порождает потомка, если $K > K_{max}$, отдавая ему при этом четверть собственного капитала).

2. Так как мы используем термин «макрогенерация» для описания макроэкономической системы, основанной на определенной технологии, значение технологического коэффициента (A) может быть использовано для описания текущей МГ, а технологическое развитие может быть представлено как результат вариации A . Согласно Шумпетеру [10], источником инноваций и технологического роста является деятельность предпринимателей, крупных компаний, которые имеют ресурсы для инвестирования в фундаментальные и прикладные научные исследования. Исходя из этого предположим, что только 1% агентов, капитал которых составляет не менее половины заданного K_{max} , являются предпринимателями.

3. Агенты осведомлены только о технологии соседних агентов. Каждый агент имеет возможность приобрести технологию одного из них. Параметры ПФ при этом изменяются следующим образом:

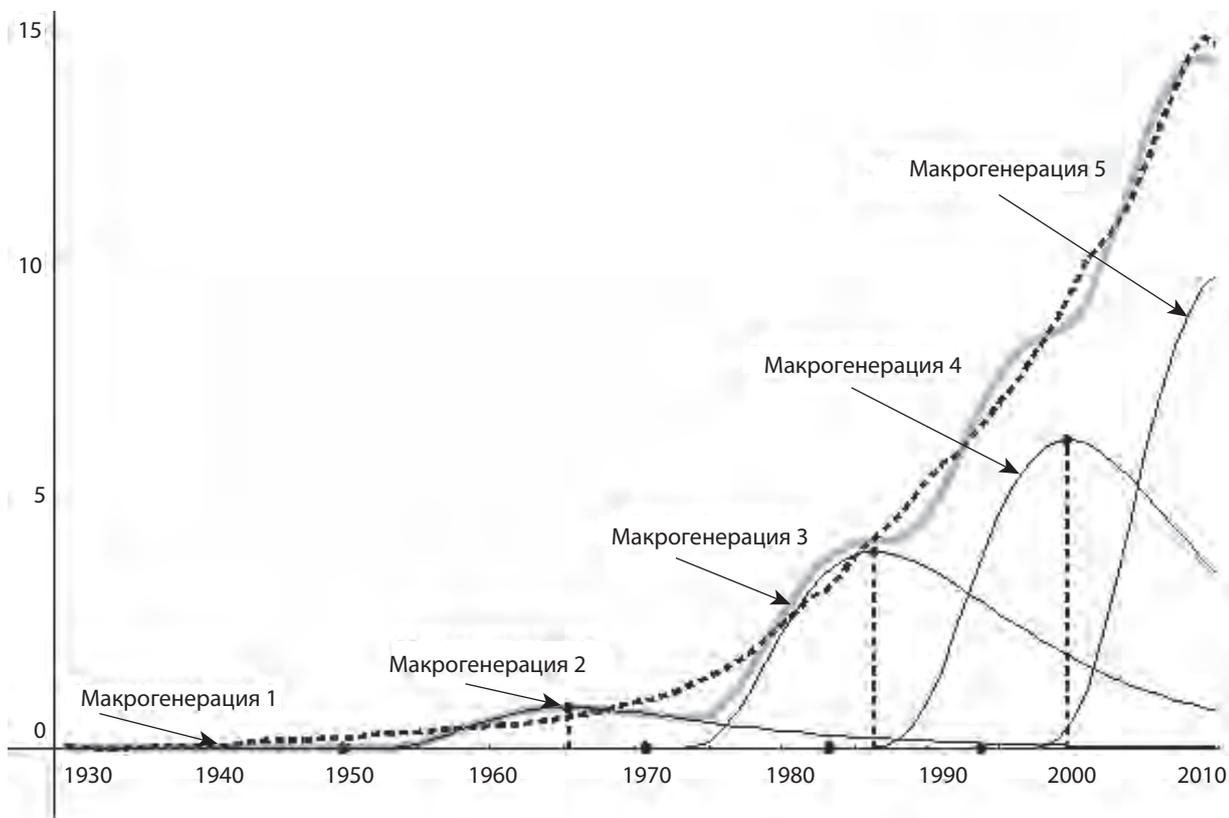


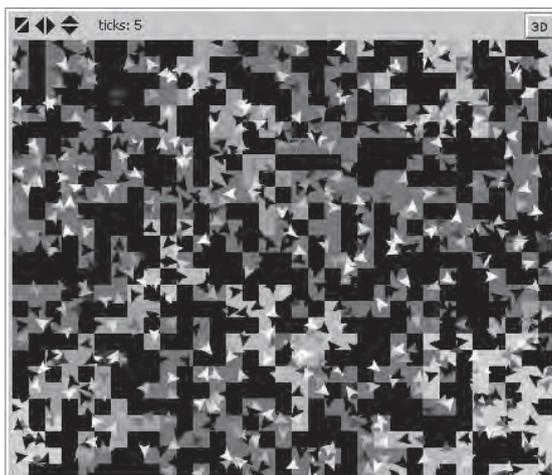
Рис. 2. Приближение ряда ВВП США (трлн долл.) набором макрогенераций

а) чем больше значение технологического коэффициента соседа, тем выше вероятность перекупки технологии. Это соответствует положению эволюционной теории о том, что если случайная мутация увеличивает приспособленность агента, она будет распространяться с большей вероятностью [11];

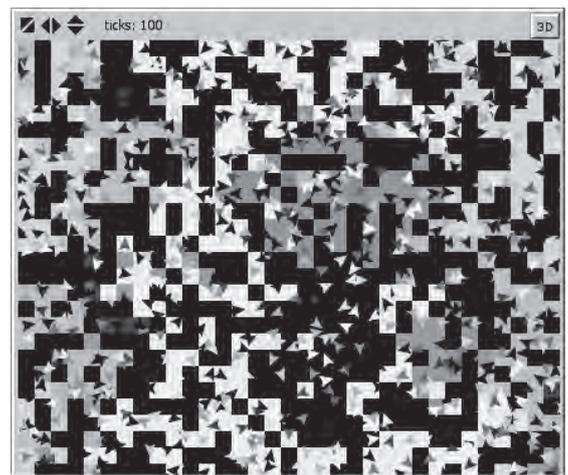
б) предварительный анализ показал, что переходу от одной МГ к следующей соответствует локальный минимум α , а фазе ее роста – увеличение α . Поэтому при изменении значения технологического коэффициента (A) α падает до минимума, а затем увеличивается с каждым шагом моделирования пока технология остается неизменной;

в) стоимость технологии пропорциональна технологическому разрыву.

На основе выдвинутых предположений в среде NetLogo [12] была построена мультиагентная модель. Работа модели позволяет наглядно представить процесс смены нескольких макрогенераций. На рис. 3 приведены изображения модельного мира в начале и в конце имитации. Здесь агент представлен в виде треугольника, окрашенного в соответствии со значением своей ПФКД, поля под агентами окрашены в цвет доминирующей технологии. На рис. 3 можно пронаблюдать процесс зарождения новой МГ в эпицентре старой.



а)



б)

Рис. 3. Визуализация процесса смены макрогенераций: а) в начале, б) в конце имитации

Анализ эволюции системы (рис. 4) показывает, что при достаточно хорошем качестве аппроксимации ($R^2 = 0,89$) она порождает динамику макрогенераций, соответствующую высказанным выше предположениям: новая МГ рождается, когда текущая достигает своего максимума, МГ проходит все фазы жизненного цикла (см. траектории макрогенераций на рис. 4).

ВЫВОДЫ

Предложенный в работе подход к моделированию макроэкономической динамики с использованием мультиагентного подхода основан на теоретических предположениях эволюционной экономики, работах Маевского и Глазьева, эмпирическом анализе макродинамики с помощью производственной функции, проведенном в предыдущих исследованиях [4].

Мультиагентная модель эволюции макрогенераций, разработанная в программной среде NetLogo, продемонстрировала макроэффекты, неприсущие индивидуальному поведению агентов.

Серии расчетов подтвердили теоретические предположения о динамике макрогенераций. Однако их число, полученное в результате имитации, оказалось большим, чем предполагалось, некоторые МГ относительно малы и возникают очень близко друг к другу.

Тем не менее, полученные результаты в целом подтвердили предположения модели смены макрогенераций, выдвинутые в [9]. Они в полной мере согласуются с теоретическими предпосылками и выводами предшествующих исследований и позволяют говорить о пригодности данного подхода для анализа эволюционных процессов в экономике. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Alchian A. A. Uncertainty, Evolution and Economic Theory / A. A. Alchian // Journal of Political Economy, 1950, v. 58, #3, pp. 211 – 221.
2. Маевский В. И. Введение в эволюционную макроэкономику / В. И. Маевский / Российская Академия Наук. Ин-

ститут экономики ; Центр эволюционной экономики. – М. : Япония сегодня, 2008.

3. Бруннер К. Представление о человеке и концепция социума: два подхода к пониманию общества / Карл Бруннер // THESIS. – М. : Издательство ГУ-ВШЭ, 1993. – № 3. – С. 51 – 72.

4. Кононова К. Ю. Моделирование динамики макрогенераций / К. Ю. Кононова. – Бизнес Информ. – 2012. – № 4. – С. 38 – 41.

5. Глазьев С. Ю. Теория долгосрочного технико-экономического развития / С. Ю. Глазьев. – М. : ВладДар, 1993.

6. Gross Domestic Product in Current and Chained Dollars [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.census.gov/compendia/statab/2011/tables/11s0666.xls>

7. Fixed Assets and Durable goods [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.bea.gov/Index.htm> U.S. Department of Commerce, Bureau of Economic Analysis

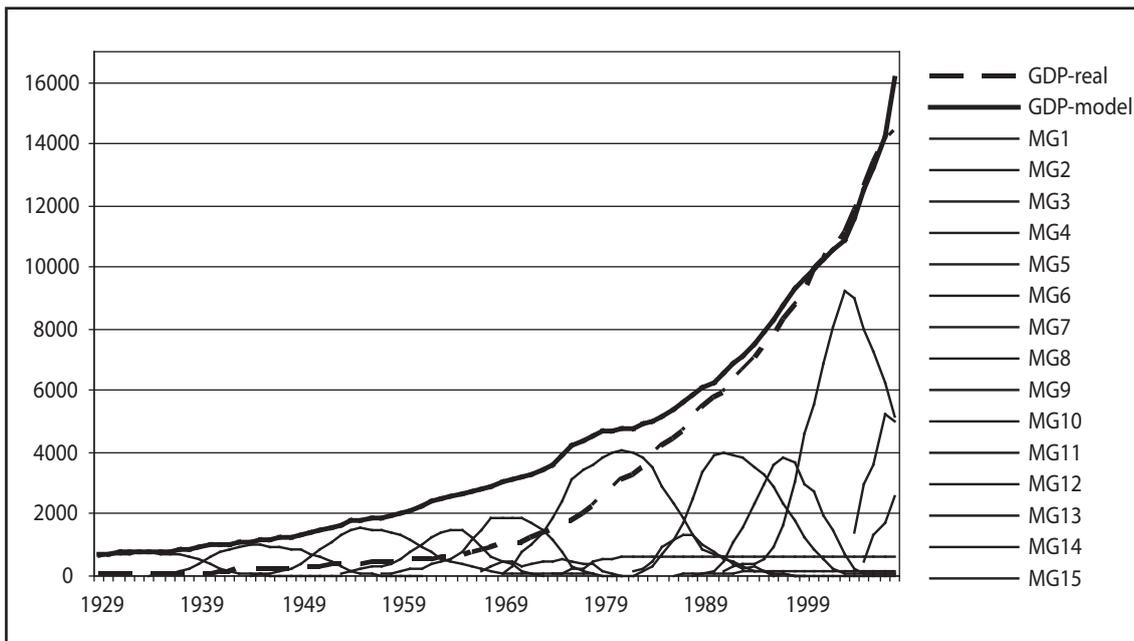


Рис. 4. Приближение ряда ВВП США (млн.долл.) набором макрогенераций

8. Labor Force Statistics from the Current Population Survey, Bureau of labor statistics [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://data.bls.gov/cgi-bin/surveymost>

9. Меркулова Т. В. Эволюционные процессы в экономике: моделирование динамики макрогенераций / Т. В. Меркулова, Е. Ю. Кононова // Моделирование социально-экономических систем: теория и практика : монография / Под ред. В. С. Пономаренко, Т. С. Клебановой, Н. А. Кизима. – Х. : ФЛМ Александра К. М. ; ИД «ИНЖЭК», 2012. – С. 79 – 90.

10. Шумпетер Й. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия / Й. Шумпетер. – М. : ЭКСМО, 2007.

11. Коротаев А. В. Социальная эволюция: факторы, закономерности, тенденции / А. В. Коротаев. – Москва : ИФ «Восточная литература» РАН, 2003.

12. NetLogo [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

REFERENCES

Alchian, A. A. "Uncertainty, Evolution and Economic Theory". *Journal of Political Economy*, vol. 58, no. 3 (1950): 211-221.

Brunner, K. "Predstavlenie o cheloveke i kontseptsiiia sotsiiuma: dva podkhoda k ponimaniuu obshchestva" [The idea of man and the concept of society: two approaches to understanding society]. *THESIS*, no. 3 (1993): 51-72.

"Fixed Assets and Durable goods". <http://www.bea.gov/Index.htm> U.S. Department of Commerce, Bureau of Economic Analysis.

Glazev, S. Yu. *Teoriia dolgosrochnogo tekhniko-ekonomicheskogo razvitiia* [The theory of long-term technical and economic development]. Moscow: VlaDar, 1993.

"Gross Domestic Product in Current and Chained Dollars". <http://www.census.gov/compendia/statab/2011/tables/11s0666.xls>

Kononova, K. Yu. "Modelyrovanye dynamyky makrohenratsyi" [Modeling the dynamics of macrogenerations]. *Biznes Inform*, no. 4 (2012): 38-41.

Korotaev, A. V. *Sotsialnaia evoliutsiia: faktory, zakonomernosti, tendentsii* [Social evolution: the factors, patterns and trends]. Moskva: Vostochnaia literatura, 2003.

"Labor Force Statistics from the Current Population Survey, Bureau of labor statistics". <http://data.bls.gov/cgi-bin/surveymost>

Merkulova, T. V., and Kononova, E. Yu. "Evoliutsionnye protsessy v ekonomike: modelirovanie dinamiki makrogeneratsiy" [Evolutionary processes in the economy: modeling the dynamics of macrogenerations]. In *Modelirovanie sotsialno-ekonomicheskikh sistem: teoriia i praktika*, 79-90. Kharkiv: Aleksandrova; INZhEK, 2012.

Maevskiy, V. I. *Vvedenie v evoliutsionnuu makroekonomiku* [Introduction to evolutionary macroeconomics]. Moscow: Yaponiia segodnia, 2008.

"NetLogo". <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
Shumpeter, Y. *Teoriia ekonomicheskogo razvitiia. Kapitalizm, sotsializm i demokratiia* [The theory of economic development. Capitalism, Socialism and Democracy]. Moscow: EKSMO, 2007.