

Lysenko, Yu. G., Ovechko, G. S., and Ovechko, A. V. *Imitatsionnoe modelirovanie ekonomicheskikh sistem* [Simulation modeling of economic systems]. Donetsk: Yugo-Vostok, 2007.

Lysenko, Yu. G., Timokhin, V. N., and Rudenskiy, R. A. *Metodologiya modelirovaniia zhiznesposobnykh sistem v ekonomike* [Modeling methodology of viable systems in the economy]. Donetsk: Yugo-Vostok, 2009.

Mezhenskaia, V. V., and Podskrebko, A. S. "Imitatsionnoe modelirovanie kak instrument priniatia upravlencheskikh resheniy, svyazannykh s perebalansirovkoj konveyernoy linii" [Simulation modeling as a tool for decision-making related to the rebalancing of the conveyor line]. In *Modeli upravleniia v rynochnoy ekonomike*, 260-268. Donetsk: DonNU, 2009.

Sterligova, A. N., and Fel, A. V. *Operatsionnyy (proizvodstvennyy) menedzhment* [Operating (production) management]. Moscow: INFRA-M, 2009.

Shirokova, G. V. *Upravlenie organizatsionnymi izmeneniyami* [Organizational change management]. St. Petersburg: SPbGU, 2005.

Sterman, J. D. "Business Dynamics. System thinking and modeling for a Complex World". <http://www.mhhe.com/business/opsci/sterman/>

Timokhin, V. N. *Metodologiya modelirovaniia ekonomicheskoy dinamiki* [Modeling methodology of economic dynamics]. Donetsk: Yugo-Vostok Ltd, 2007.

УДК 330.4:519.86:519.876.5

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ ДИНАМІКИ ПЕНСІЙНОГО СОЦІУМУ

ЯКИМОВА Л. П.

УДК 330.4:519.86:519.876.5

Якимова Л. П. Моделювання просторово-часової динаміки пенсійного соціуму

У статті запропоновано та досліджено клітинно-автоматну мультиагентну імітаційну модель динаміки процесу поширення недержавного пенсійного забезпечення (НПЗ), що дозволяє імітувати та візуалізувати просторово-часову динаміку пенсійного соціуму, відтворювати механізми міжсуб'єктної взаємодії у соціумі, диференційованому за соціально-психологічними та рольовими ознаками, з урахуванням синергетичного ефекту спільної дії агентів системи НПЗ і впливу ЗМІ на суб'єктів соціуму. Проведення серії імітаційних експериментів дозволило встановити залежності сценаріїв еволюції пенсійного соціуму від параметрів процесу поширення НПЗ: коефіцієнтів охоплення пенсійного соціуму професійними агентами та ЗМІ, кількості ефективних контактів, коефіцієнта зниження рівня недовіри населення до НПЗ, рівня сприйняття інформації агентів НПЗ і рівня їх впливу. В еволюції пенсійного соціуму виявлено регулярні аттрактори, моменти настання та характеристики яких залежать від параметрів процесу поширення НПЗ, деякі з цих параметрів є керованими.

Ключові слова: недержавне пенсійне забезпечення, пенсійний соціум, просторово-часова динаміка, імітаційна модель, клітинний автомат.

Рис.: 3. **Бібл.:** 9.

Якимова Лариса Петрівна – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри економічної кібернетики та інформаційних технологій, Донбаський державний технічний університет (пр. Леніна, 16, Алчевськ, 94204, Україна)

E-mail: l_p_yakimova@mail.ru

УДК 330.4:519.86:519.876.5

Якимова Л. П. Моделирование пространственно-временной динамики пенсионного социума

В статье предложена и исследована клеточно-автоматная мультиагентная имитационная модель динамики процесса распространения негосударственного пенсионного обеспечения (НПО), позволяющая имитировать и визуализировать пространственно-временную динамику пенсионного социума, воспроизводит механизмы межсубъектного взаимодействия в социуме, дифференцированном по социально-психологическим и ролевым признакам, с учетом синергетического эффекта совместного воздействия агентов системы НПО и влияния СМИ на субъектов социума. Проведение серии имитационных экспериментов позволило установить зависимости сценариев эволюции пенсионного социума от параметров процесса распространения НПО: коэффициентов охвата пенсионного социума профессиональными агентами и СМИ, количества эффективных контактов, коэффициента снижения уровня недоверия населения к НПО, уровня восприятия информации агентов НПО и уровня их влияния. В эволюции пенсионного социума выявлены регулярные аттракторы, моменты наступления и характеристики которых зависят от параметров процесса распространения НПО, отдельные из этих параметров являются управляемыми.

Ключевые слова: негосударственное пенсионное обеспечение, пенсионный социум, пространственно-временная динамика, имитационная модель, клеточный автомат.

Рис.: 3. **Библ.:** 9.

Якимова Лариса Петровна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономической кибернетики и информационных технологий, Донбасский государственный технический университет (пр. Ленина, 16, Алчевск, 94204, Украина)

E-mail: l_p_yakimova@mail.ru

UDC 330.4:519.86:519.876.5

Yakimova L. P. Modelling the Space-Time Dynamics of the Pension Social Medium

The article offers and studies a cellular automaton multi-agent imitation model of dynamics of the process of propagation of the non-state pension provision (NPP) that allows imitation and visualisation of the space-time dynamics of the pension social medium, reproduction of mechanisms of inter-subject interaction in the social medium differentiated by socio-psychological and role properties with consideration of a synergetic effect of joint impact of agents of the NPP system and influence of mass media on the subjects of the social medium. A series of imitation experiments allowed establishment of dependence of scenarios of evolution of the pension social medium on parameters of the process of propagation of NPP: ratios of coverage of the pension social medium by professional agents and mass media, number of effective contacts, ratio of reduction of the level of distrust of the population to NPP, level of perception of information of NPP agents and level of their influence. The article detects regular attractors in evolution of the pension social medium, the moments of appearance and characteristics of which depend on parameters of the process of propagation of NPP, some of these parameters are controlled.

Key words: non-state pension provision, pension social medium, space-time dynamics, imitation model, cellular automaton.

Pic.: 3. **Bibl.:** 9.

Yakymova Larysa P. – Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economic Cybernetics and Information Technologies, Donbas State Technical University (pr. Lenina, 16, Alchevsk, 94204, Ukraine)

E-mail: l_p_yakimova@mail.ru

Хронічний дефіцит Пенсійного фонду України, повільний розвиток недержавного пенсійного забезпечення (НПЗ) в умовах глобальної демографічної кризи актуалізують питання розробки теоретико-методичного базису та практичного інструментарію для аналізу, моделювання та прогнозування сценаріїв розвитку національної пенсійної системи та її складових з метою прийняття науково обґрунтованих управлінських рішень щодо пенсійного забезпечення сучасного та майбутніх поколінь.

Метою даного дослідження є розробка клітинно-автоматної мультиагентної імітаційної моделі поширення недержавного пенсійного забезпечення – спеціального програмного комплексу, що дозволить імітувати просторово-часову динаміку пенсійного соціуму, відтворювати механізми міжсуб'єктної взаємодії у соціумі, диференційованому за соціально-психологічними та рольовими ознаками, з урахуванням синергетичного ефекту спільної дії агентів системи НПЗ і впливу ЗМІ на суб'єктів соціуму.

Традиційні [1] клітинні автомати є дискретними динамічними системами, поведінка яких повністю визначається локальними та всюди однаковими правилами взаємодій. Незважаючи на порівняльну простоту клітинних автоматів, модельовані на їх основі процеси здатні виявляти досить складну та цікаву динаміку. Аналіз причин виникнення та розвитку теорії клітинних автоматів, а також численні приклади [1 – 7] вдалого моделювання фізичних, біологічних, соціально-економічних явищ клітинно-автоматним методом приводять до висновку, що основним призначенням цього методу є моделювання просторово-часової динаміки дискретних процесів.

Під просторово-часовою динамікою пенсійного соціуму розуміється зміна структури пенсійного соціуму (населення старше 15 років [8]) стосовно відношення його суб'єктів до самостійного забезпечення старості через інститути НПЗ у просторі та часі. Моделювання динаміки пенсійного соціуму засноване на таких гіпотезах:

- ✦ кожен суб'єкт (індивідуум) соціуму може знаходитися в одному із трьох станів: 1) особа, яка є сприйнятливою до ідеї НПЗ, тобто схильною до самостійного забезпечення старості через інститути НПЗ, але не є учасником системи – потенційний учасник системи НПЗ; 2) особа, яка є дійсним учасником системи, – агент системи НПЗ; 3) особа, яка є несприйнятливою до ідеї самостійного забезпечення старості через інститути НПЗ, – контрагент системи НПЗ;
- ✦ на кожного індивідуума у момент t впливають індивіди з його оточення та професійні агенти системи НПЗ – фінансові консультанти страхових компаній, співробітники недержавних пенсійних фондів і банків, які за певних умов можуть виступати як контрагенти;

Саме просторово-розподілена структура пенсійного соціуму з дискретним набором станів і пенсійна поведінка індивідуума, яка перш за все визначається установками його найближчого оточення (а при наявності професійних агентів ще й їх впливом), зумовили вибір концепції клітинних автоматів для імітаційно-

го моделювання процесу поширення НПЗ. Побудову клітинно-автоматної моделі засновано на механізмі поширення недержавного пенсійного забезпечення та математичних моделях динаміки цього процесу у вигляді систем диференціальних і різницьових рівнянь без урахування синергетичного ефекту спільної дії агентів системи НПЗ і впливу ЗМІ на суб'єктів соціуму [8] та з його врахуванням [9]. При врахуванні синергетичного ефекту додатково вводяться ще дві гіпотези: 1) ймовірність залучення до системи НПЗ при взаємодії агентів системи вище ймовірності при їх незалежній дії; 2) на індивідуума істотно впливають лише перші агенти (ефективні контакти), подальші майже не впливають, а в окремих випадках навіть спричиняють негативну реакцію – відторгнення самої ідеї НПЗ.

Клітинно-автоматну імітаційну модель реалізовано в інтегрованому середовищі розробки Microsoft Visual Studio 2010 Express на мові програмування C++ з використанням технології Windows Forms. Для уникнення крайових ефектів решітка автомата «загортається» у тор, що дозволяє для всіх клітин автомата (суб'єктів пенсійного соціуму) використовувати загальну імовірнісну функцію переходів. Імовірнісні характеристики клітинного автомата забезпечуються застосуванням генератора псевдовипадкових чисел, розподілених за рівномірним законом. Для визначення наступного стану клітини як параметри у функцію переходів p передаються поточні значення станів самої клітини та клітин її околу (окіл Мура – восьмизв'язний), а також параметри професійних агентів (контрагентів), функцій синергетичного ефекту та впливу ЗМІ. Генерація переходів з імовірністю p здійснюється за умови: $rand < p$.

Відповідно до розробленої програми-імітатора при заданні початкового стану пенсійного соціуму, параметрів процесу поширення НПЗ (які задаються згідно з пенсійною статистикою та експертними оцінками фахівців з НПЗ), кількості ітерацій (номер місяця з моменту запровадження НПЗ) користувач отримує візуалізацію стану пенсійного соціуму на цій ітерації – портрет пенсійного соціуму, його структуру у відсотках, таблицю та графіки, що відбивають динаміку визначених груп з моменту запровадження НПЗ до поточної ітерації включно. Послідовний перехід від ітерації до ітерації дозволяє спостерігати процес поширення НПЗ у часі й просторі – еволюцію пенсійного соціуму.

Якщо з деякого моменту часу параметри процесу змінились, то задаються початковий стан пенсійного соціуму, що відповідає цьому моменту, та нові параметри. При імітації процесу поширення НПЗ в окремих регіонах використовуються регіональні початковий стан і параметри процесу. Отже, програму імітаційної моделі розроблено таким чином, що вона є універсальною, тобто може враховувати різні параметри процесу поширення НПЗ, може застосовуватися у будь-яких соціально-економічних умовах і регіонах (країнах). Разом з тим перш ніж використовувати імітаційну модель для прогнозування процесів поширення НПЗ, вона повинна пройти випробування, перевірку адекватності. Але на цьому етапі виникає проблема: для процесу поширення НПЗ характерним є неповнота

даних про дійсних учасників системи та їх повна відсутність щодо несприйнятливих осіб і потенційних учасників, що унеможливає повноцінну валідацію моделі статистичними методами. Тому для перевірки відповідності між поведінкою моделі та поведінкою реальної системи обмежимось зіставленням отриманих значень за серією імітаційних експериментів з експертними оцінками та наявною пенсійною статистикою.

Реалізація початкового стану пенсійного соціуму (рис. 1) відображає реальний його портрет на момент запровадження НПЗ в Україні – 01.01.2004 р.

У результаті проведення серії імітаційних експериментів при базовому наборі параметрів моделі на 96-й ітерації, тобто станом на 01.01.12 р. отримано таку структуру пенсійного соціуму: несприйнятливі особи – 31,32%, потенційні учасники – 64,84%, дійсні учасники системи – 3,84% пенсійного соціуму. Така структура (відхилення від середнього складають 1-2%) задовільно узгоджується з оцінками фахівців – 3-4% населен-

ня старше 15-ти років є дійсними учасниками системи НПЗ. Поведінка моделі не порушує експертні знання про процес поширення НПЗ, адекватно відображає логіку та закономірності цього процесу у часі та просторі, що дає підстави вважати розроблену імітаційну модель такою, що заслуговує на довіру, та використовувати її для аналізу, прогнозування та прийняття рішень.

Необхідно зазначити, що, комбінуючи параметри, які характеризують процес поширення НПЗ, можна як завгодно близько підігнати результати імітаційних експериментів до динаміки реального процесу, але така підгонка не є самоціллю. Найбільш важливо, з точки зору прогнозування та регулювання даного процесу знання можливих сценаріїв його розвитку, знання залежності сценаріїв від параметрів процесу. Під таким знанням розуміється залежність просторово-часової динаміки (портрета пенсійного соціуму та форм кривих) від областей зміни параметрів. Тому далі шля-

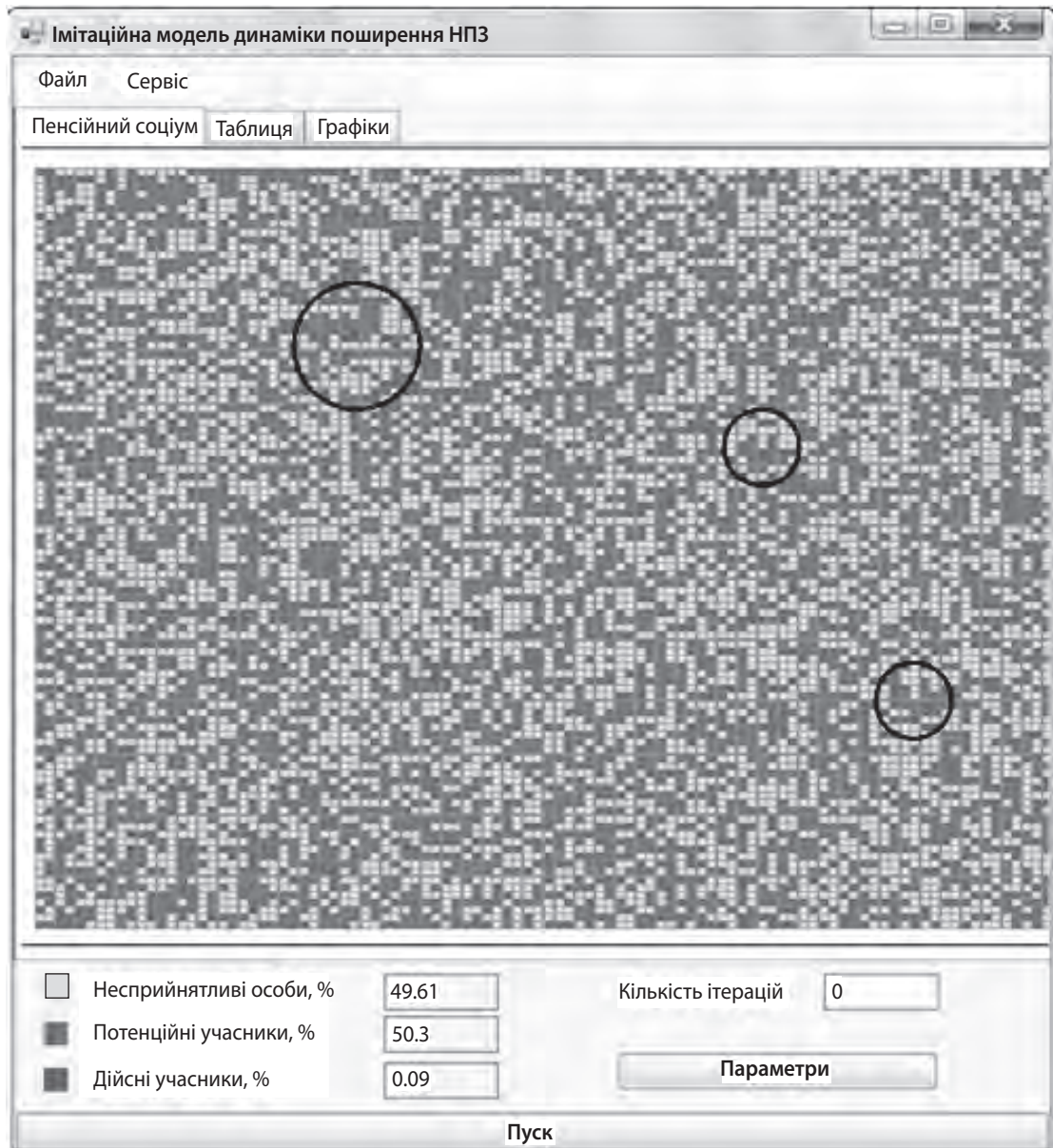


Рис. 1. Початковий портрет пенсійного соціуму (станом на 01.01.04 р.)

хом проведення серії експериментів досліджуються реакції відгуків моделювання (портрет пенсійного соціуму та його динаміка) на зміну значень параметрів процесу поширення НПЗ та аналізуються залежності сценаріїв еволюції пенсійного соціуму від зазначених параметрів. Нижче наведено деякі з них.

1. Збільшення коефіцієнта охоплення пенсійного соціуму професійними агентами з 5% до 10% при незмінності решти параметрів моделі приводить у результаті 96-ї ітерації до такої структури пенсійного соціуму: несприйнятливі особи – 25,7%, потенційні учасники – 55,28%, дійсні учасники – 19,02% пенсійного соціуму. Тобто збільшення коефіцієнта охоплення пенсійного соціуму професійними агентами на 5 процентних пунктів (п. п.) активізує процес поширення НПЗ і спричиняє збільшення кількості дійсних учасників на 15 п. п. Отже, регуляторам системи НПЗ необхідно сприяти розвитку мережі професійних агентів (фінансових консультантів страхових компаній, НПФ і банківських співробітників) і технологій для роботи на пенсійному ринку.

2. Збільшення значення кількості ефективних контактів з 5 до 7 при незмінності решти параметрів моделі у результаті 96-ї ітерації приводить до такої структури пенсійного соціуму: несприйнятливі особи – 30,25%, потенційні учасники – 46,98%, дійсні учасники – 22,77% пенсійного соціуму. Отримано ще кращу структуру пенсійного соціуму, причому така структура має місце вже на 55-й ітерації, а далі спостерігається стаціонарний режим з незначними коливаннями чисельності груп соціуму навколо їх середнього – аттрактор. Разом з тим варто мати на увазі, що це психофізичний чинник, на який важко вплинути, але ж коректна поведінка фінансових консультантів, їх професійна підготовка щодо проведення співбесід, побудова правильних комунікацій, тобто вдосконалення клієнтського сервісу сприятимуть підвищенню кількості ефективних контактів, реалізації додатної дії синергетичного ефекту.

3. Зменшення коефіцієнта зниження рівня недовіри потенційних учасників під впливом агентів НПЗ з 0,99 до 0,8 при незмінності решти параметрів моделі у результаті 96-ї ітерації приводить до такої структури пенсійного соціуму: несприйнятливі особи – 39,37%, потенційні учасники – 35,64%, дійсні учасники – 24,99% пенсійного соціуму. Отже, збільшення ефекту співбесід із агентами системи на 19 п. п. спричиняє збільшення кількості учасників системи на 21 п. п.

4. Збільшення рівня сприйняття інформації агентів НПЗ несприйнятною особою у 10 разів з 0,0002 до 0,002 при незмінності решти параметрів моделі у результаті 96-ї ітерації приводить до збільшення кількості дійсних учасників більш ніж у 6 разів. Досягти збільшення рівня сприйняття інформації агентів НПЗ несприйнятливими особами є можливим, як і у попередніх випадках, шляхом удосконалення клієнтського сервісу інститутів системи НПЗ.

5. Збільшення рівня сприйняття інформації агентів НПЗ потенційним учасником у 2 рази з 0,35 до 0,7 спричиняє збільшення кількості дійсних учасників у 10 разів. Такої найбільш сприятливої структури 3:3:3 пенсійний

соціум набуває вже на 70-й ітерації, тобто менше, ніж через 6 років з моменту запровадження НПЗ.

6. Збільшення рівня впливу агентів пенсійного соціуму з 0,5 до 0,8 приводить до збільшення кількості дійсних учасників майже у 7 разів. Середнє значення цього показника 25% спостерігається з 55 ітерації.

7. Збільшення коефіцієнта охоплення пенсійного соціуму ЗМІ на 9 п. п. з 1% до 10% приводить до збільшення кількості дійсних учасників майже на 14 п. п., що обумовлює необхідність розробки інформаційних та освітніх програм, спрямованих на підвищення обізнаності населення щодо питань НПЗ та фінансової грамотності.

Для передбачення подальшої еволюції пенсійного соціуму здійснено серію імітаційних експериментів на прогностичний період. Так, станом на 1 січня 2021 р., тобто через 17 років з моменту впровадження системи НПЗ (результат 204-ї ітерації, *рис. 2*), лише кожна п'ята особа старше 15 років є дійсним учасником системи НПЗ, а майже кожен четвертий категорично проти самостійного забезпечення старості через інститути системи. Реалізація такого сценарію в умовах старіння населення та краху солідарної системи може спричинити масову бідність непрацездатного населення та призвести до соціальної нестабільності суспільства.

Прогнозування процесу поширення НПЗ на більш тривалий період із детермінованими параметрами цього процесу, напевне, не має практичного сенсу, але може бути цікавим з точки зору теоретичного дослідження тенденцій, виявлення можливих аттракторів. Імітаційні експерименти доводять, що з плином часу встановлюється стаціонарний режим функціонування системи НПЗ. При цьому поряд зі сталим станом рівноваги спостерігаються коливальні зміни чисельності усіх трьох груп пенсійного соціуму. За прийнятих параметрів, починаючи зі 130 – 150-ї ітерації (залежно від експерименту), структура пенсійного соціуму залишається практично незмінною (*рис. 3*): несприйнятливі особи – 24 – 26%, потенційні учасники – 49 – 52%, дійсні учасники – 22 – 24% пенсійного соціуму.

ВИСНОВКИ

Проблемний аналіз імітаційних експериментів дав можливість зробити такі висновки:

- ✦ побудована клітинно-автоматна мультиагентна імітаційна модель дозволяє імітувати та візуалізувати просторово-часову динаміку пенсійного соціуму, відтворювати механізми міжсуб'єктної взаємодії у соціумі, диференційованому за соціально-психологічними та рольовими ознаками, з урахуванням синергетичного ефекту спільної дії агентів системи НПЗ та впливу ЗМІ на суб'єктів соціуму;
- ✦ збереження параметрів процесу поширення НПЗ на поточному рівні в умовах старіння населення та краху солідарної системи може спричинити у майбутньому глобальну бідність літніх людей і соціальну нестабільність у суспільстві;

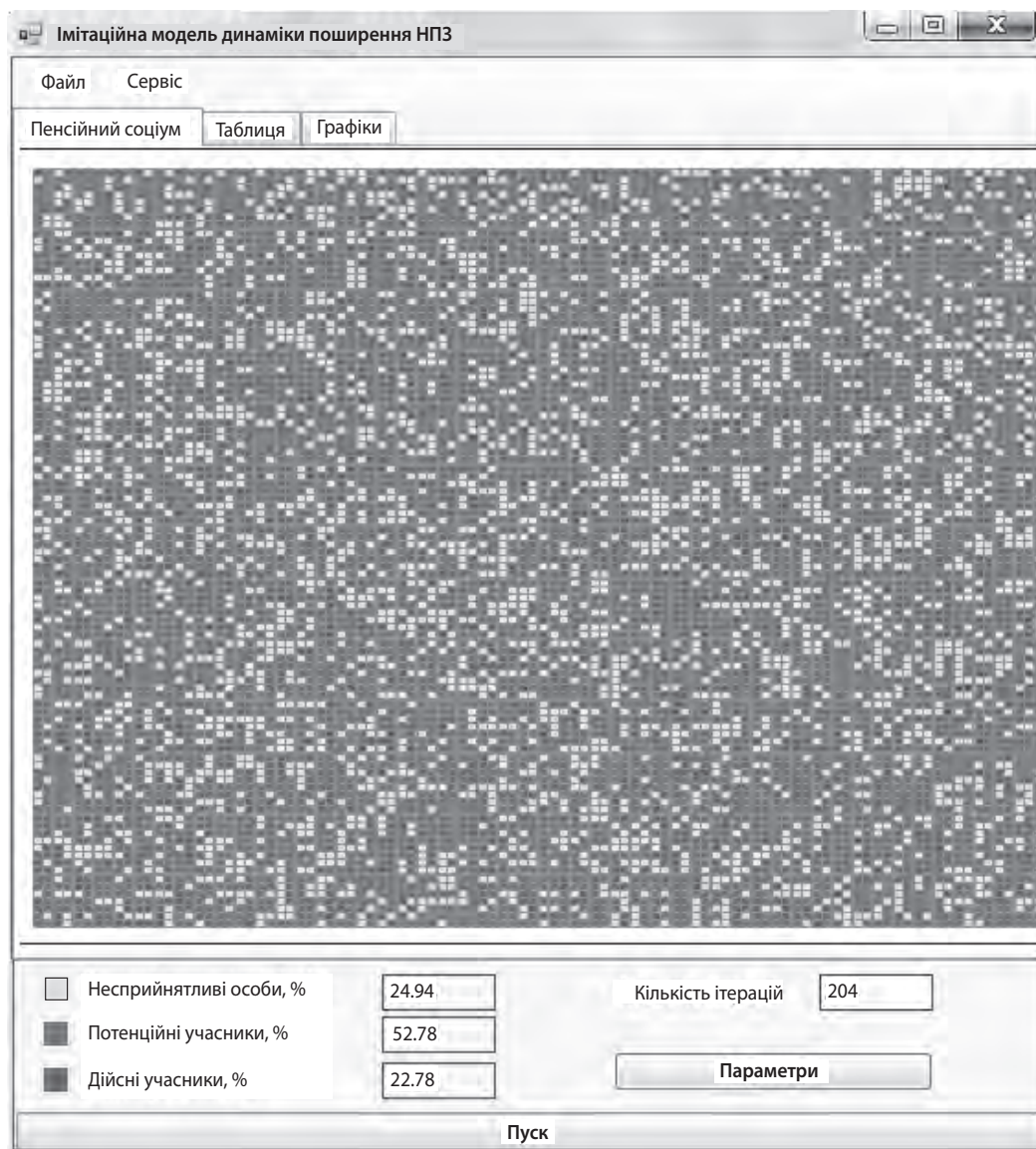


Рис. 2. Прогноз динаміки поширення НПЗ: портрет пенсійного соціуму (станом на 01.01.21 р.)

- ✦ кількісно підтверджено очікувані висновки стосовно необхідності розширення та вдосконалення клієнтського сервісу професійних фінансових консультантів, розробки інформаційних та освітніх програм, спрямованих на підвищення обізнаності населення щодо питань НПЗ та фінансової грамотності;
- ✦ в еволюції пенсійного соціуму виявлено регулярні аттрактори, моменти настання та характеристики яких залежать від параметрів процесу поширення НПЗ, деякі з цих параметрів є керованими. ■

ЛІТЕРАТУРА

1. **Тоффоли Т.** Машины клеточных автоматов / Т. Тоффоли, Н. Марголус / Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 280 с.
2. **Беркович С. Я.** Клеточные автоматы как модель реальности: поиски новых представлений физических и информационных процессов / С. Я. Беркович / Пер.с англ. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 112 с.
3. **Даніч В. М.** Моделювання швидких соціально-економічних процесів : [монографія] / В. М. Даніч. – Луганськ : Вид-во СЛУ ім. В. Даля, 2004. – 304 с.
4. **Плотинский Ю. М.** Модели социальных процессов : учебное пособие для высших учебных заведений / Ю. М. Плотинский. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Логос, 2001. – 296 с.
5. **Малинецкий Г. Г.** Моделирование движения толпы с помощью клеточных автоматов [Электронный ресурс] / Г. Г. Малинецкий, М. Е. Степанцов. – Режим доступа : <http://mews.ru/pdf/pnd97.pdf>
6. **Ландэ Д. В.** Моделирование электоральных процессов на основе концепции клеточных автоматов / Д. В. Ландэ, В. Н. Фурашев // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков : НАКУ, 2007. – Вып. 36. – С. 123 – 128.
7. **Нижегородцев Р. М.** Модели клеточных автоматов в теории диффузии инноваций / Р. М. Нижегородцев, В. Д. Секерин, С. В. Лисафьев // Вопросы новой экономики. – 2012. – № 3. – С. 39 – 43.
8. **Даніч В. М.** Динамічні моделі розповсюдження недержавного пенсійного забезпечення / В. М. Даніч, Л. П. Якимова // Современные подходы к моделированию сложных социально-

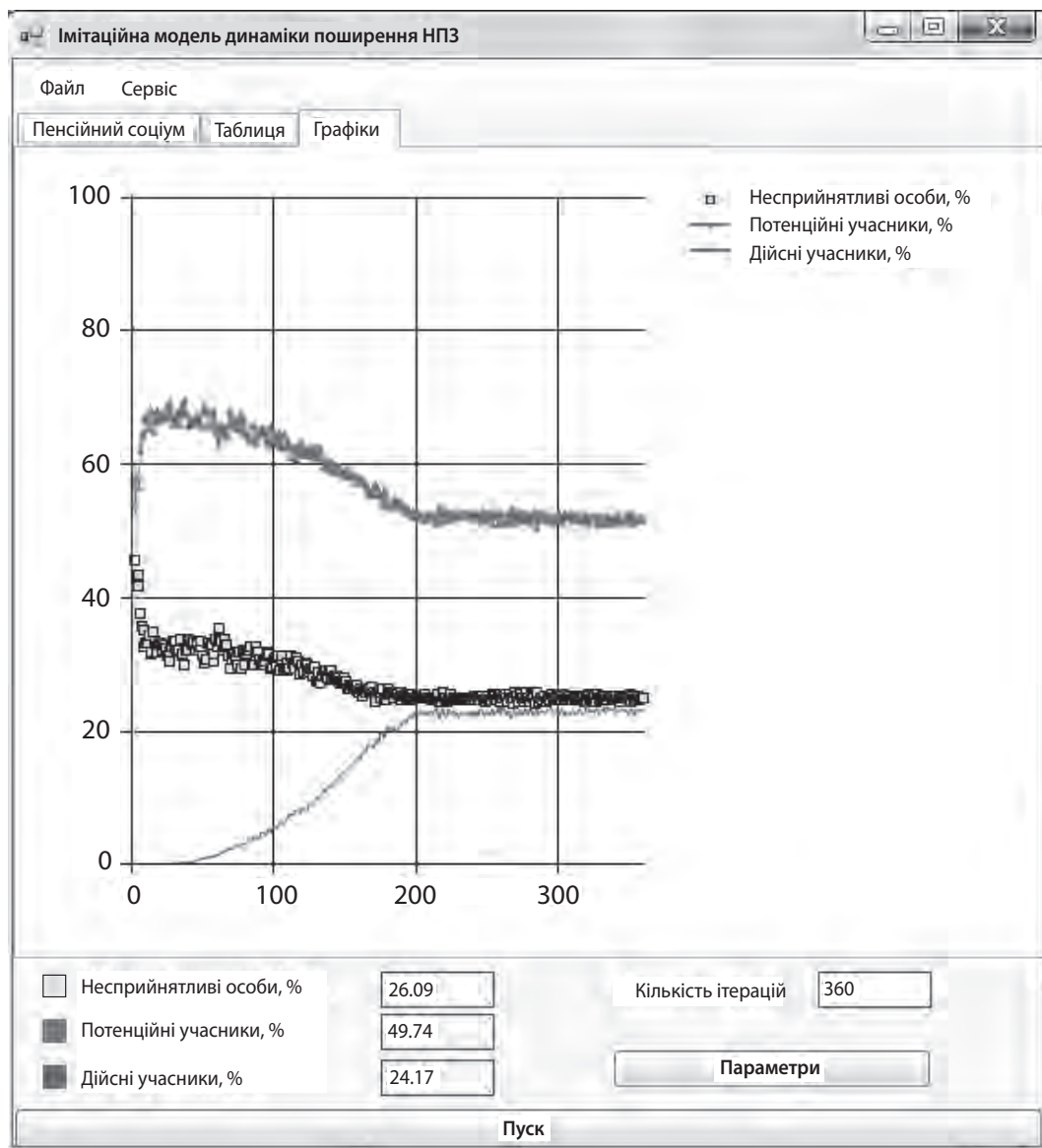


Рис. 3. Прогноз динаміки поширення НПЗ: стаціонарний режим

экономических систем: монография / Под ред. В. С. Пономаренко, Т. С. Клебановой, Н. А. Кизима. – Х. : ФЛП Александрова К. М.; ИД «ИНЖЭК», 2011. – С. 187 – 198.

9. Якимова Л. П. Синергетичний ефект в моделях динаміки поширення недержавного пенсійного забезпечення / Л. П. Якимова // Економіка розвитку. – 2013. – № 1(65). – С. 10 – 14.

REFERENCES

Berkovich, S. Ya. *Kletochnye avtomaty kak model realnosti: poiski novykh predstavleniy fizicheskikh i informatsionnykh protsessov* [Cellular automata as a model of reality: the search for new concepts of physical and information processes]. Moscow: MGU, 1993.

Danich, V. M. *Modeliuvannia shvydkykh sotsialno-ekonomichnykh protsesiv* [Simulation of rapid socio-economic processes]. Luhansk: SNU imeni V. Dalia, 2004.

Danich, V. M., and Yakymova, L. P. "Dynamichni modeli rozpovsiudzhennia nederzhavnoho pensiinoho zabezpechennia" [Dynamic model of the distribution of private pensions]. In *Sovremennye podkhody k modelirovaniyu slozhnykh sotsialno-ekonomicheskikh system*, 187-198. Kharkiv: Александрова К. М.; YNZhEK, 2011.

Lande, D. V., and Furashev, V. N. "Modelirovanie elektoralnykh protsessov na osnove kontseptsii kletochnykh avtomatov" [Simulation of electoral processes based on the concept of cellular automata]. *Otkrytye informatsionnye i kompiuternye integrirovannye tekhnologii*, no. 36 (2007): 123-128.

Malinetskiy, G. G., and Stepanov, M. E. "Modelirovanie dvizheniya tolpy s pomoshchiu kletochnykh avtomatov" [Simulation of the motion of the crowd with the help of cellular automata]. <http://mews.ru/pdf/pnd97.pdf>

Nizhegorodtsev, R. M., Sekerin, V. D., and Lisafev, S. V. "Modeli kletochnykh avtomatov v teorii diffuzii innovatsiy" [Cellular automata model in the theory of diffusion of innovations]. *Voprosy novoy ekonomiki*, no. 3 (2012): 39-43.

Plotinskiy, Yu. M. *Modeli sotsialnykh protsessov* [Models of social processes]. M.: Logos, 2001.

Toffoli, T., and Margolus, N. *Mashiny kletochnykh avtomatov* [Machines cellular automata]. Moscow: Mir, 1991.

Yakymova, L. P. "Synerhetychnyi efekt v modeliakh dynamiky poshyrennia nederzhavnoho pensiinoho zabezpechennia" [Synergetic effects in models of the dynamics of the spread of private pensions]. *Ekonomika rozvytku*, no. 1(65) (2013): 10-14.