

<https://doi.org/10.26565/2220-8089-2022-43-05>  
УДК 303.519.7:007

**Олександр Олександрович Чорненький**

аспірант кафедри політології філософського факультету  
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна,  
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022.  
[chornenkyi.o.o@gmail.com](mailto:chornenkyi.o.o@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0001-9479-1776>

## РОЛЬ АГЕНТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ СИМУЛЯЦІЙ У ПОЛІТОЛОГІЇ

Розглядаються можливості використання комп'ютерного агентного моделювання у дослідженнях, пов'язаних з аналізом політичних процесів. Дається інформація про історичний контекст впровадження комп'ютерних симуляцій на основі агентного моделювання у соціальні науки, і відмічається важливість моделей Т.Шелінга і Р.Аксельрода.

Зазначається корисність використання такого підходу для дослідження складних динамічних систем, учасники яких мають складні взаємозв'язки, а їхня поведінка залежить від обставин. Дається інформація про основні складові агентної моделі, а саме про простір і агентів, та описується відображенням чого вони можуть бути. Звертається увага на важливість розуміння дослідником мети, яку він ставить перед собою використовуючи цей підхід, що в свою чергу впливає та завдання параметрів моделі, від яких залежить буде вона з високим рівнем реалізму, абстракції, або змішаною. Розглядається можливість застосування комп'ютерного агентного моделювання для прогнозування перебігу соціальних і політичних процесів та думка інших дослідників щодо цього питання.

Наводяться приклади десяти досліджень, пов'язаних з аналізом різних політичних процесів, автори яких використовують даний підхід та власні моделі з різним рівнем реалізму. Розглядається можливість використання комп'ютерних симуляцій для прогнозування результатів майбутніх та відтворення результатів минулих виборів, оцінки стратегій виборчих кампаній, виникнення ідеологічної поляризації, моделювання політичного дискурсу, оцінки ефективності впроваджуваної політики, аналізу ризиків виникнення соціальної нестабільності у державі під впливом зовнішніх та внутрішніх факторів.

Робиться висновок, що агентне моделювання може бути корисним інструментом у руках політологів, оскільки значно розширює можливості аналізу складних політичних процесів.

Ключові слова: *агентне моделювання, симуляція, агент, соціальні науки, політологія.*

**Як цитувати:** Чорненький, О. О. 2023. Роль агентного моделювання та комп'ютерних симуляцій у політології. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Питання політології»* 43: 37-46. <https://doi.org/10.26565/2220-8089-2022-43-05>

**In cites:** Chornenkyi, Oleksandr. 2023. The Role of Agent-Based Modeling and Computer Simulations in Political Science. *The journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series «Issues of Political Science»* 43: 37-46. <https://doi.org/10.26565/2220-8089-2022-43-05> (inUkrainian).

**Е**волюція комп'ютерної техніки у сучасному світі дає нові можливості для проведення досліджень та значно змінює погляди вчених з різних сфер на вже існуючі методи та підходи. Стрімкий розвиток такої дисципліни, як комп'ютерні науки, і ті можливості, які вона сьогодні пропонує, спонукає все більше науковців з різних інших сфер долучатися для

міждисциплінарної співпраці. У нашій попередній статті, яка була присвячена темі перспективи розширення методології політичної науки, вже були коротко розглянуті можливості та тенденції у використанні сучасних інформаційно-комунікаційних технологій для проведення політологічних досліджень. Ми зробили висновок, що використання різних підходів, що базуються на використанні комп'ютерної техніки, може бути цінним доповненням до класичних політологічних методів проведення

досліджень (Чорненький 2022). У цій статті ми зосередимо свою увагу більш детально на конкретному підході, а саме комп'ютерному агентному моделюванні процесів, та розглянемо можливості його використання для вирішення різних завдань у політологічних дослідженнях.

Питаннями можливостей використання агентного моделювання для досліджень у політології та соціології, а також теоретичною розробкою симуляційних моделей та сценаріїв у різні часи займалися такі науковці, як Р. Аксельрод, Т. Шелінг, Р. Акстель, У. Вілінські, К. Ціоффі-Ревілла, Б. Пірес, Л. Е. Цедерман, В.Б. Артур, Д. Гамільтон, А. Флаш, К.Троост, Н. Гілберт, та інші.

Метою статті є розгляд можливостей використання комп'ютерного агентного моделювання для аналізу різних політичних процесів.

Перш за все, ми зосередимо увагу на тому, як агентне моделювання вплинуло на методологію досліджень у соціальних науках взагалі, опишемо основні характерні риси цього підходу, а потім розглянемо його використання науковцями для політологічних досліджень. Також зазначимо, що у нашій роботі зібрані не всі випадки використання агентного моделювання у соціальних науках і політології, лише ті, що, на нашу думку, найкраще можуть показати спектр можливостей його використання для аналізу різних явищ, пов'язаних з перебігом політичних процесів

Агентне комп'ютерне моделювання є доволі перспективним інструментом сьогодні, і як зазначають деякі з дослідників, що хоча його використання у соціальних науках все ще недостатньо поширене, але з початку XXI сторіччя зберігається тенденція зростання зацікавленості застосування цього підходу серед науковців у сфері соціальних дисциплін (Klein, Marx, Fischbach 2018; Fischbach, Marx, Weitzel 2021).

Якщо розглядати агентне моделювання з історичного боку, то виявиться, що ідеї, пов'язані з цим підходом, висувалися ще у 60-х роках XX ст. і саме у той час соціологами були проведені перші експерименти із залученням комп'ютерної техніки. Хоча результати експериментів були доволі обнадійливими, але через недостатню потужність, недоступність і високу ціну комп'ютерної техніки у ті роки використання такого підходу не набуло великого поширення. Також велику роль у непоширеності цього підходу стало те, що багато дослідників у ті роки були некомпетентними у

роботі зі складною на той час комп'ютерною технікою (Voinea 2016, Johnson 1999). Однак також треба зауважити одну важливу річ, що у середині XX ст. агентне моделювання не завжди було пов'язано з використанням комп'ютерної техніки; під агентними моделями могли розглядатися абстрактні математичні моделі взаємодії агентів у складних системах, але з плином часу, розвитком потужності і доступності комп'ютерної техніки у 1980-х роках, агентне моделювання і симуляційне агентне моделювання стали розглядати як тотожні підходи (Klein, Marx, Fischbach 2018:8).

Як відмічають дослідники, в історичному контексті, важливими для розуміння перспективи використання агентного моделювання у соціальних науках стали праці Т.Шеллінга і Р.Аксельрода.

У своїй праці Р.Аксельрод запропонував розглянути модель турніру «Дилема ув'язненого», і виявив, що у системах, в яких агенти від самого початку не налаштовані на кооперацію для досягнення перемоги; все одно серед них з'являються агенти, які націлені на співпрацю. Також важливим стало те, що для досягнення перемоги у турнірі не було однієї початкової вигральної стратегії, і агенти постійно динамічно реагували й відповідали на хід крок суперників, тобто залежно від ситуації у загальній системі (Axelrod 1980).

Т.Шеллінг запропонував модель сегрегації, в якій він досліджував поведінку агентів, які відрізняються своїми параметрами. Він виявив, що у системах, в яких агенти налаштовані на толерантне сусідство один з одним, все одно виникає явище сегрегації, і агенти намагаються зайняти позиції якомога ближче до агентів з аналогічними параметрами (Shelling 1969).

Ці дві праці, які є класичними сьогодні, у той час показали можливості використання агентного моделювання для дослідження складних динамічних систем. У контексті соціальних наук важливим є саме можливості роботи з системами, що постійно знаходяться у русі і змінюються. Політологи та соціологи доволі часто мають справу саме з дослідженням систем, в яких учасники мають складні взаємозв'язки, що можуть змінюватися залежно від обставин, і для їх аналізу використання класичних методів може бути доволі складним. Застосовуючи симуляційне агентне моделювання можна пов'язати мікро- та макрорівень системи, і дослідити, як дії на мікрорівні змінюють макрорівень системи, і навпаки, як зміни

макрорівня системи впливає на поведінку і взаємозв'язки агентів на макрорівні (Bruch, Atwell 2015; Klein, Marx, Fischbach 2018; Masy, Willer 2002).

Слід зауважити, що симуляційне моделювання потребує значної кількості ресурсів обчислювальної техніки і, згідно з деякими науковцями, лише зі зростанням потужності комп'ютерів у 90-ті роки ХХ ст, у соціальних науках, і зокрема у політології, почалися справжні широкомасштабні дослідження з використанням агентного моделювання (Voinea 2016: 32, 36).

Розглянувши агентне моделювання в історичному контексті ми перейдемо до його основних характерних рис. Агентна модель являє собою простір, у якому існують штучні агенти згідно з правилами, які задаються дослідником. Агенти існують автономно, маючи свої специфічні цілі, можуть взаємодіяти один з одним, і у процесі взаємодії змінювати стан осередку, в якому вони знаходяться, та адаптуватися під нові умови (Klein, Marx, Fischbach 2018; Voinea 2016; Masy, Willer 2002: 148). У випадку агентного моделювання під простором мається на увазі як матеріальний, або фізичний простір який може відображати реально існуючу територію, так і нематеріальний простір, який може бути полем ідеологій, переконань, тощо. У якості агентів можуть виступати окремі індивіди, групи, райони, країни, інститути, тобто будь-які об'єкти, які відображають одиницю, яка знаходиться у відповідному до специфіки дослідження просторі (Klein, Marx, Fischbach 2018: 11-14).

Важливими питанням для агентного моделювання є присвоєння моделі і агентам параметрів. Вони керують умовами можливості існування агентів у просторі, можуть встановлювати зв'язок між ними, та керувати їхньою поведінкою. Від того як, і які параметри будуть присвоєні, можна говорити про рівень абстракції моделі, тобто іншими словами, буде агентна модель відноситися до моделей з високим рівнем абстракції чи з високим рівнем реалізму. Рівень абстракції або реалізму моделі напряму залежить від цілей, які ставить перед собою дослідник, а також процесів, які він аналізує (Bruch, Atwell 2015: 191-194; Klein, Marx, Fischbach 2018: 15-20).

Ідеалізовані моделі з високим рівнем абстракції можуть не відображати процеси, які виникають у реальності, та не дають точного опису мотивації дій штучних агентів. Такі моделі перш за все корисні для

дослідження виникнення у системі непередбачуваних явищ, або для розробки нових теорій (Bruch, Atwell 2015: 192-193). Вони також можуть бути використані у якості лабораторного обладнання, яке допомагає досліднику проводити експерименти для аргументації, або для позначення проблеми (Bruch, Atwell 2015: 193; Bankes 2002: 379).

Моделі з високим рівнем реалізму якомога точніше імітують реальні явища, які можуть бути перевірені емпіричним шляхом. Такі моделі використовують, коли намагаються знайти причину наслідковій зв'язки у реальних процесах. Вони можуть включати агентів, що мають велику кількість характеристик, а середовище може мати власну динаміку. Дані, на основі яких задають параметри системи, можуть збираються емпіричним шляхом, а характеристики агентів можуть включати у себе детальну інформацію про об'єкти, які вони відображають. Наприклад, якщо агент є відображенням індивіда, у його характеристики можуть бути внесені стать, вік, освіта, дохід, взаємозв'язок з іншими агентами, тощо (Bruch, Atwell 2015: 191-198).

Іноді дослідникам можуть бути невідомі деякі необхідні дані для точної побудови системи, або виникають випадки, коли наявні теорії поведінки не можуть точно описати поведінку акторів у реальному світі. В такому випадку агентна модель може бути змішаною, і включати у себе параметри, які намагаються відтворити високий рівень реалізму у поєднанні з параметрами, які доволі абстрактно відтворюють процеси у системі (Bruch, Atwell 2015).

Деякі дослідники називають достовірну комп'ютерну модель «дзеркалом світу» зазираючи у яке можна побачити відображення реальних процесів. Така модель може бути потужним інструментом у руках дослідників, а всі результати моделювання можуть бути перевірені емпірично у реальному світі (Bankes 2002: 378-379).

Через те, що агентне моделювання дозволяє працювати з динамічними системами та дає дослідникам змогу аналізувати складні явища у яких фігурують багато змінних, часто постає питання можливості використання цього підходу для прогнозування процесів. На початку ХХІ століття деякі дослідники зазначали, що використання агентного моделювання для прогнозування деяких соціальних і політичних процесів є достатньо складною справою, а більшість існуючих у той час досліджень пов'язаних з прогнозуванням на їх думку не мали

достатньої точності. У той же час вони відмічали, що загалом застосування агентного моделювання є корисним для вирішення багатьох завдань у соціальних науках включаючи політологію, а також розробки рекомендаційних матеріалів щодо проведення політики (Bankes Lempert, Popper 2002: 380-387). На думку сучасних дослідників, використання агентного моделювання для прогнозування цілком можливе, але за умови ретельного калібрування моделі на основі емпіричних даних для впевненості у тому, що вона з достатньою точністю відображає реальні процеси (Bruch, Atwell 2015). Ще одні дослідники, розглядаючи роль агентного моделювання у соціальних науках, відзначають, що даний підхід робить особливий внесок у їх методологію, та може бути корисним інструментом для розробки доволі точних прогнозів (Chattoe-Brown 2023).

Одним із важливих питань для політології завжди була можливість аналізу та прогнозування перебігу виборчого процесу. Як і у попередній нашій роботі зазначимо, що одні з перших спроб використання дослідниками комп'ютерної техніки та методів, пов'язаних з симуляцією індивідуальної поведінки акторів були пов'язані саме зі спробами дослідити дії виборців під час голосування, і тим самим спрогнозувати результати виборів (Чорненький 2022: 39).

В одному з нещодавніх досліджень науковці застосовують агентні моделі для прогнозування результатів виборів 2020 року у Тайвані та США. За агентну одиницю пропонується брати окремого виборця, і як зазначають самі автори, на відміну від аналогічних досліджень, вони широко застосовують апроксимовані емпіричні дані демографічних звітів для присвоєння агентам параметрів, які відбивають характеристики виборця на індивідуальному рівні. Також модель включає в себе параметри, які відбивають вплив на вибір соціальних та економічних факторів, а також шоківих потрясінь у суспільстві. Особливістю є те, що агентне моделювання в цій роботі використовується на декількох етапах, як для прогнозування результатів майбутніх виборів, так і для розробки основних робочих агентних моделей. Звернувшись до історичних даних, дослідники сформулювали загальні правила голосування та скомбінувавши їх з демографічними показниками за минулі роки, побудували перші моделі, в яких сгенеровані агенти мали діапазони

вподобань. Після проведення перших комп'ютерних симуляцій були виключені моделі, які недостатньо точно узгоджувалися з реальними результатами виборів за минулі роки. У моделей, які пройшли відбір, були включені вплив соціальних та економічних факторів, а потім вплив атрибутів кандидата та шоківих потрясінь у суспільстві. Ітераційним методом, проводячи серії симуляцій, і порівнюючи їх з результатами минулих виборів, дослідники віднайшли міру впливу чинників макрорівня на поведінку агентів. Таким чином, були створені остаточні агентні моделі, які були використані для прогнозування майбутніх виборів на основі актуальних на той час демографічних та економічних даних для кожної країни. Для Тайваню використовували дві групи агентних моделей з різними акцентами, перша група більшою мірою відбивала рід діяльності виборців, а друга – їх релігійні переконання. Щодо США моделювання виконувалося для шести американських штатів; і для кожного з них аналогічно Тайваню були розроблені дві групи моделей, але акценти у другій групі з релігійних переконань змінилися на етнічну приналежність. Результати показали, що для Тайваню, не дивлячись на незначну похибку у розрахунку часток голосів, на які звертають увагу самі автори, різниця між прогнозованим і фактичним результатом не перевищує 1%. Для США похибка прогнозування по різних штатах дещо більша, ніж у попередньому випадку, але все одно передбачена доля голосів достатньо близька до фактичної (Gao, Wang, Liu 2022).

На нашу думку, це дослідження є гарним прикладом використання агентного моделювання для політологічних досліджень і дає змогу зрозуміти, що при ретельній побудові моделі і широкому використанні для цього емпіричних даних можна досягти значної точності у прогнозуванні.

У роботі литовського дослідника А. Кононовичуса, яка також присвячена темі виборів, використовується агентне моделювання для аналізу парламентських виборів у Литві. Це дослідження не пов'язано з прогнозуванням результатів майбутніх виборів, а націлено на розгляд можливості відтворення у віртуальному осередку процесів, які привели до розподілу голосів на минулих виборах. Також порівняно з попереднім дослідженням автор використовує більш просту агентну модель, яка базується на моделі стадності, в якій агенти роблять свій вибір залежно від інших агентів зі

схожими характеристиками. Результати показали, що використання даної агентної моделі загалом дає схожий розподіл з реальними результатами виборів, але в деяких випадках є значні відхилення (Kononovicius 2017).

Під час під проведення виборчої кампанії для кандидатів важливим є вибір оптимальної стратегії взаємодії з електоратом для отримання від останнього якомога більшої частки голосів. Сучасні технології дозволяють збирати велику кількість інформації про людей і створювати їхні індивідуальні профілі. Автори дослідження «Метод оцінки стратегій мікроцільової кампанії з когнітивною інформацією: підтвердження принципу моделі на основі агента» зазначають, що все більшою популярністю серед кандидатів на різних виборах стала користуватися стратегія проведення мікротаргетованих виборчих кампаній (далі МТК). Використовуючи агентне моделювання дослідники аналізують, наскільки проведення кампаній, націлених на окремі групи виборців може бути більш ефективним порівняно з кампаніями, націленими на весь електорат. Модель включає у себе три типи агентів, які імітують виборців, кандидатів з МТК, кандидатів без МТК. Агентам-виборцям присвоюються параметри, котрі відбивають їхній рівень оцінки компетентності кандидата та його надійності, а також динамічні параметри, які показують переконання виборців щодо кандидата, і відповідають за вірогідність голосування. У ході симуляції кожен кандидат виступає з заявою до окремого виборця, а останній, залежно від своїх початкових параметрів, оцінює достовірність заяви і корегує свої переконання. Кандидат без МТК виступає з заявами до обраних випадковим чином виборців, у той час як кандидат з МТК ігнорує виборців, які мають позитивні чи негативні переконання щодо нього, і адресує свої заяви лише тим, хто має нейтральні переконання та високий рівень довіри до його заяв. За один крок симуляції кандидати з МТК можуть зробити заяви до 20 виборців, а максимальну кількість виборців для кандидату без МТК дослідники варіюють для аналізу ефективності стратегії МТК (Madsen, Pilditch 2018).

Хоча питання прогнозування та аналізу перебігу виборчих процесів є доволі актуальним для політичної науки, існує ряд інших питань, для яких агентне моделювання може бути гарним інструментом у руках науковців.

В одній з останніх робіт, співавтором якої є Р.Аксельрод, пропонується використання агентного моделювання для дослідження ідеологічної поляризації. Дослідники пропонують доволі просту модель з великим рівнем абстракції. В ній агенти діють на основі простих правил, які не базуються на пошуку довгострокової вигоди, або складних стратегіях. Замість цього використовують лише два простих правила. Перше з базується на тому, що агенти більш охоче взаємодіють з іншими агентами, якщо вони мають схожі погляди, а друге, що при взаємодії агентів зі схожими характеристиками різниця між ними зменшується, і навпаки, зростає, якщо агенти несхожі. Модель являє собою багатовимірний простір, де кожний вимір відповідає політичному питанню і у ньому розташовані ідеологічні погляди агентів. На кожному кроці симуляції, випадково обраний агент обмінюється інформацією з іншим агентом, і в тому випадку якщо він сприймає його погляди, перший агент наближається до другого, а якщо погляди не сприймаються, тоді перший агент віддаляється. Симуляції проводяться для шести різних параметрів, серед яких є ті, що відповідають за рівень привабливості для агента інших ідеологічних поглядів (толерантність), силу відгуку при взаємодії (контактність), ступінь взаємодії між агентами залежно від їхньої позиції у просторі (експозиція), наявність для агента переважаючих ідеологічних позицій, пов'язаних з економічною вигодою (економічний егоїзм), кількість ідеологічних вимірів (множинність ідеологічних вимірів), вплив на агентів зовнішніх факторів (зовнішній шок). Змінюючи ці параметри можна проаналізувати, як окремо кожен з них впливає на поведінку агентів та на виникнення поляризації у системі. Як зазначають самі автори, дослідження не покликано повністю відтворити реальні процеси, а показує, як використовуючи доволі просту агентну модель можна досліджувати механізми виникнення поляризації у суспільстві (Axelrod, Daymude, Forrest 2021).

Існує дослідження, автори якого використовуючи доволі схожий на попередній підхід до побудови моделі, аналізують динаміку змін індивідуальних переконань під впливом домінуючих поглядів у суспільстві, і розглядають можливі механізми виникнення поляризації. Як і в попередньому дослідженні, модель включає у себе багатовимірний простір, кожен вимір якого відповідає політичному питанню, і у

ньому розташовуються агенти згідно зі своїми початковими переконаннями. В ході симуляції агенти обмінюються інформацією, і якщо переконання узгоджуються, вони наближаються один до одного. Однак, на відміну від попереднього дослідження, взаємодія агентів будуються на основі психологічних теорій, а саме когнітивного дисонансу та структурного балансу, і з точки зору правил обміну інформацією та механізму її узгодження, ця модель може бути більш складною ніж попередня. Також автори звертають увагу на те, що перевагою їх моделі є наявність параметра, який відображає політичну активність агента (Schweighofer, Garcia, Schweitzer 2020).

На нашу думку, цікавою може бути ще одна робота, яка частково пов'язана з поляризацією, але головним у ній є те, що вона показує можливість використання агентного моделювання для аналізу політичного дискурсу.

Автори опублікованого у 2014 році дослідження зауважують, що політичний дискурс є складним явищем, яке має ряд своїх специфічних особливостей, вказуючи на те, що на той час існує обмежена кількість спроб його змодельовати. Вони пропонують агентні моделі, метою яких є штучне відтворення теоретичних умов, у яких політичний дискурс не знаходиться у рівновазі протягом значного проміжку часу. Модель візуально може бути відображена як простір, у якому знаходяться агенти, з'єднані мережовим зв'язком. Агенти діляться на різні типи, одні входять до груп інтересів, інші відображають діючих державних акторів. Вони займають початкові позиції у просторі та встановлюють зв'язок один з одним залежно від своїх параметрів, які відповідають їхнім ідеологічним переконанням. У ході симуляції проводяться раунди, під час яких обраний випадковим чином агент виступає з заявою по одній з політичних концепцій (або генерує нову концепцію), а інші агенти оцінюють його заяву, і залежно від своїх характеристик займають нові позиції у просторі та корегують свої зв'язки. Модель включає механізми впливу на поведінку агента його ідеологічних переконань, пам'яті щодо минулих заяв, популярності концепцій у інших агентів, прагнення до популяризації старих концепцій, оцінки власної корисності, а також позицій агентів, які відображають державних акторів. Крім візуального аналізу змін у мережі, дослідники пропонують використовувати чисельні індекси для

оцінки результатів моделювання. У результаті симуляцій з включенням різних механізмів впливу автори на основі індексів будують графіки, за допомогою яких оцінюють, яка з комбінацій механізмів впливу на поведінку найкраще відповідає результатам емпіричних досліджень (Leifeld 2014).

Для політичної науки важливим є те, що комп'ютерні симуляції та агентне моделювання можуть допомогти заздалегідь передбачити ефективність впровадження тієї чи іншої політики. На нашу думку, в цьому відношенні цікавою є робота, в якій Дж. Дозі, А. Ровентіні, Е. Руссо, використовуючи даний підхід, аналізують можливі варіанти проведення промислової політики країнами, які розвиваються, для скорочення їх промислової та економічної дистанції з розвинутими країнами. Модель відбиває дві групи країн, які знаходяться на різних етапах технологічного розвитку, маючи свої власні відкриті економіки, галузі виробництва та фірми. Також для кожної з цих груп задані динамічні параметри, які відбивають їхній економічний стан на кожному проміжку часу. У процесі симуляції, фірми, маючи власні початкові технології, займаються виробництвом товару; конкуруючи на внутрішньому та зовнішньому ринку, намагаються зайняти більшу його частину і прагнуть у різний спосіб розвивати технології. Варіюючи початкові параметри моделі, дослідники аналізують три глобальні політичні сценарії для знаходження сприятливих для країн, що розвиваються, умов, які б через певний час мали б змогу наздогнати розвинуті країни. У першому сценарії імітується ситуація невтручання держави у промисловість. Другий сценарій передбачає проведення державою широко-масштабної промислової політики з втручанням у промисловість, стимулюванням фірм та введенням торгових обмежень групі розвинутих країн. У третьому сценарії політика націлена тільки на введення торгових обмежень для групи розвинутих країн, без стимуляції власних фірм (Dosi, Roventini, Russo 2021).

Застосовуючи агентне моделювання, інші дослідники намагаються проаналізувати ефективність проведення державної політики контролю за відходами. В цьому випадку політика пов'язана з підтриманням настанов у суспільстві, котрі сприятимуть активній участі громадян у сортуванні відходів, і як наслідок – підвищенню використання вторинної сировини. Автори пропонують розглянути модель, в якій

відображає населений район у вигляді квадратного поля, на якому розміщуються три різні типи агентів. Кожний агент залежно від свого типу має власні цілі та правила поведінки. Першим типом є пов'язані між собою домовласники, правила поведінки яких залежать від параметрів, які відбивають їхнє ставлення до вторинної переробки, рівень сприйняття зовнішніх настанов, власні внутрішні соціальні норми. На кожному кроці симуляції агенти першого типу продукують відходи і залежно від власних параметрів та параметрів сусідніх агентів приймають рішення про його сортування для подальшої переробки, або утилізацію у вигляді непереробного сміття. Другий тип агентів подібний до сміттєвозів, поведінка яких залежить від типу та кількості відходів, а їхнім головним завданням є імітація транспортування сміття до третього типу агентів, які є заводами з переробки відходів, або сміттєзвалищами. Модель дозволяє керувати початковим станом навколишнього середовища, що також впливає на поведінку агентів. Через те, що агенти першого типу мають вплив один на одного, варіювання параметрами їх окремих груп дозволяє дослідникам імітувати державну політику, націлену на закріплення у соціальних нормах необхідності сортування відходів. Ефективність впроваджуваної політики пропонується оцінювати, аналізуючи співвідношення перероблених відходів до непереробного сміття. Провівши серію симуляцій для чотирьох можливих сценаріїв з різними початковими параметрами агентів і навколишнього середовища, та порівнявши отримані результати з емпіричними даними інших досліджень, автори дійшли висновку, що використання даного підходу є корисним для аналізу ефективності впроваджуваної політики (Ceshi, Sartori, Dickert, Scalco, Tur, Tommasi, Delfini 2021).

Комп'ютерні симуляції можуть допомогти дослідникам аналізувати ризики виникнення соціальної та політичної нестабільності у масштабі країни. Зазначаючи, що глобальна продовольча безпека все частіше є предметом обговорення на міжнародній політичній арені, автори одного з досліджень пропонують агентну модель, мета якою є імітація того, як державна політична нестабільність, дефіцит продовольства та його ціна на міжнародному ринку можуть вплинути на ризик виникнення продовольчого бунту в країні. У якості агентів у цьому дослідженні виступають країни (усього

213), параметри яких задані на основі інформації, взятої з баз даних результатів досліджень проведених Всесвітнім банком та Організацією Об'єднаних Націй. Параметри включають у себе змінні, які відображають виробництво та споживання країною продовольства, початкові запаси, коефіцієнт співвідношення запасів до споживання тощо. Також у модель вводяться параметри, які відповідають за імітацію шоків потрясінь на світовому продовольчому ринку. Початкові ціни на продовольство розраховуються на основі індексу продовольчих цін Продовольчої та сільськогосподарської організації (ФАО), а також на основі аналізу емпіричних даних минулих років. Агенти розподілені на два типи, а саме на імпортерів та експортерів, і знаходяться у мережевому зв'язку один з одним. Під час кожного кроку імітаційного моделювання імпортери намагаються поповнити власні запаси продовольства згідно зі своїми параметрами споживання та необхідного запасу. У тому випадку, якщо експортер не може покрити потреби імпортера, останній намагається знайти нового агента, з яким можна встановити торговий зв'язок. Симуляція проводиться до тих пір, поки всі агенти не задовольнять свої потреби, або на ринку не залишиться продовольства. Для оцінки ризику виникнення продовольчого бунту, дослідники вводять індекс, який розраховується згідно з параметрами політичної стабільності кожного агента, його продовольчої ситуації та ситуації на світовому продовольчому ринку. Порівнявши результати симуляцій з реальними історичними даними щодо продовольчих бунтів у різних країнах світу, автори дійшли висновку, що агентне моделювання може бути доволі корисним інструментом для оцінки ризиків виникнення соціальної нестабільності (Natalin, Bravo, Jones 2019).

З точки зору тематики нашої статті, цікавою може бути робота дослідників, які також пропонують застосування комп'ютерних симуляцій для моделювання нестабільності та протестних настроїв у державі. Ми зазначаємо, що хоча ця робота опублікована у 2010 році, на нашу думку вона все одно заслуговує на увагу через, те, що під час наших розвідок ми не знайшли жодної більш сучасної роботи з аналогічним підходом та рівнем побудови моделі.

Дослідники пропонують власну агентну модель Rebe Land, яка є абстрактним відображенням держави з функціонуючими у ній соціальними та політичними про-

цесами. Головною метою дослідження є імітація в умовах штучної країни складних соціальних факторів, які можуть привести до громадських заворушень, і як наслідок до краху країни. Простір для агентів представлено у вигляді острівної держави з власним кліматом та рельєфом, яка поділена на провінції, у яких розташовуються з'єднані дорогами міста та зони з природними ресурсами. Модель є мультиагентною, включає у себе первинних та вторинних агентів, які також підрозділяються на різні типи. Первинні агенти є відображенням окремих громадян, міст та державної політики. Громадяни концентруються у містах, згідно з їхньою привабливістю, котра залежить від цінності найближчого ресурсу, і виконують умовні повсякденні завдання. Агент-місто розробляє політику для вирішення проблем агентів-громадян, та стягує з них податки. Агент, котрий відповідає за державну політику, розподіляє загальні ресурси між агентами-містами залежно від їхніх потреб. Вторинні агенти генеруються з загальної кількості громадян під час симуляції, і позначаються як повстанці або військові. Під час симуляції для агентів-громадян імітується виникнення проблем (які можуть мати різний характер та масштаб), і залежно від ефективності впровадженої політики, вони підвищують, чи знижують індекс стресу. У тому випадку, коли індекс стресу перевищує критичне значення, агенти-громадяни перетворюються на агентів-повстанців, а на противагу їм агент-місто, згідно зі своїми ресурсними можливостями, генерує агентів-військових. Модель дозволяє імітувати збройні конфлікти між цими двома типами агентів, результат якого розраховується на основі співвідношення сил та особливостей рельєфу. Також залежно від ефективності політики та поведінки агентів-повстанців, інші агенти-громадяни можуть підтримати ту, чи іншу сторону конфлікту. Варіюючи початковими параметрами моделі, можна розглядати різні типи країн та державного устрою, і аналізувати, які чинники можуть призвести до виникнення протестних настроїв у суспільстві. (Cioffi-Revilla, Rouleau 2010)

Ми навели десять прикладів використання дослідниками комп'ютерного агентного моделювання для аналізу процесів пов'язаних з політикою. Можна зробити висновок, що комп'ютерне агентне моделювання може бути доволі потужним інструментом у руках політологів, а його

використання дозволяє аналізувати складні політичні процеси в системах з багатьма змінними. Також важливим є те, що воно дозволяє у доволі короткий час розглянути розмаїття різних можливих сценаріїв розвитку подій. Ми підкреслюємо, що у цій статті зібрані далеко не всі дослідження з використанням агентного моделювання, але ті, що на нашу думку є цікавими з точки зору побудови моделі і мети, яку ставили перед собою автори. Також ми хочемо зазначити, що автори деяких досліджень не є представниками гуманітарних дисциплін, а більшою мірою пов'язані з науковими сферами, близькими до комп'ютерних наук, і виходячи з цього, ми вважаємо, що сьогодні для політології важливим є розширення міждисциплінарної співпраці. У наших майбутніх дослідженнях ми плануємо детально розглянути питання корисності для політологів використання технології автоматичного збору даних.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чорненький, О. О. 2022. Використання засобів інформаційно-комунікаційних технологій в політологічних дослідженнях, *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Питання політології»* 42: 38-44. <https://doi.org/10.26565>
2. Klein, D., Marx, J., & Fischbach, K. 2018. Agent-based modeling in social science, history, and philosophy. An introduction. *Historical Social Research, Historische Sozial for schung* 43(1): 7-27. <https://doi.org/10.12759/hsr.43.2018.1.7-27>
3. Fischbach, K., Marx, J. & Weitzel, T. 2021. Agent-based modeling in social sciences, *Journal of Business Economics* 91: 1263-1270. <https://doi.org/10.1007/s11573-021-01070-9>
4. Voinea, C. F. 2016. *Politica IAttitudes. Computational and Simulation Modelling*. Chichester: John Wiley&Sons, Ltd. 306 p.
5. Johnson, P. E. 1999. Simulation Modeling in Political Science, *American Behaviora IScientist* Vol. 42, Iss. 10 : 1509-1530. <https://doi.org/10.1177/0002764299042010004>
6. Axelrod, R. 1980. Effective choice in the prisoner's dilemma, *Journal of conflict resolution*, Vol. 24, Iss. 1, 3-25. <https://doi.org/10.1177/002200278002400101>
7. Schelling, T. C. 1969. Models of segregation, *The American economic review* 59(2), 488-493.
8. Bruch, E., & Atwell, J. 2015. Agent-based model sinempirical social research. *Sociological methods&research*, Vol. 44, Iss.2 : 186-221. <https://doi.org/10.1177/0049124113506405>
9. Macy, M. W. & Willer, R. 2002. From factors to actors: Computational sociology and agent-based modeling, *Annual Review of Sociology*. 28(1): 143-166.



<https://doi.org/10.1146/annurev.soc.28.110601.141117>

10. Bankes, S., Lempert, R., & Popper, S. 2002. Making computational social science effective: Epistemology, methodology, and technology, *Social Science Computer Review*, Vol. 20 Iss. 4: 377-388. <https://doi.org/10.1177/089443902237317>

11. Chattoe-Brown, E. 2023. Is agent-based modelling the future of prediction? *International Journal of Social Research Methodology* Vol. 26 Iss. 2: 143-155. <https://doi.org/10.1080/13645579.2022.2137923>

12. Gao, M., Wang, Z., Wang, K., Liu, C., & Tang, S. 2022. Forecasting elections with agent-based modeling: Two live experiments, *Plos one*, 17(6), e0270194. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270194>

13. Kononovicius, A. 2017. Empirical analysis and agent-based modeling of the Lithuanian parliamentary elections. *Complexity*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/7354642>

14. Madsen, J. K., & Pilditch, T. D. 2018. A method for evaluating cognitively informed micro-targeted campaign strategies: An agent-based model proof of principle. *PloS one* 13(4): e0193909. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193909>

15. Axelrod, R., Daymude, J. J., & Forrest, S. 2021. Preventing extreme polarization of political attitudes, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(50), e2102139118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2102139118>

16. Schweighofer, S., Garcia, D., & Schweitzer, F. 2020. An agent-based model of multi-dimensional opinion dynamics and opinion alignment. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 30(9) <https://doi.org/10.1063/5.0007523>

17. Leifeld, P. 2014. Polarization of coalitions in an agent-based model of political discourse, *Computational Social Networks* 1(1), 1-22. <https://doi.org/10.1186/s40649-014-0007-y>

18. Dosi, G., Roventini, A., & Russo, E. 2021. Public policies and the art of catching up: matching the historical evidence with a multicountry agent-based model, *Industrial and Corporate Change*, Vol. 30, Iss. 4: 1011-1036. <https://doi.org/10.1093/icc/dtaa057>

19. Ceschi, A., Sartori, R., Dickert, S., Scalco, A., Tur, E. M., Tommasi, F., & Delfini, K. 2021. Testing a norm-based policy for waste management: An agent-based modeling simulation on nudging recycling behavior, *Journal of Environmental Management*, 294, 112938. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112938>

20. Natalini, D., Bravo, G., & Jones, A. W. 2019. Global food security and food riots—an agent-based modelling approach. *Food Security*, 11, 1153-1173. <https://doi.org/10.1007/s12571-017-0693-z>

21. Cioffi-Revilla, C., & Rouleau, M. 2010. MASON RebeLand: An agent-based model of politics, environment, and insurgency. *International Studies Review* 12(1), 31-52 <https://doi.org/10.1111/j.1468-2486.2009.00911.x>

Стаття надійшла до редакції 24.03.2023

Стаття рекомендована до друку 05.05.2023

### **Oleksandr Chornenkyi**

PhD student, Department of Political Sciences, V.N. Karazin Kharkiv National University

4, Svoboda Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

[chornenkyi.o.o@gmail.com](mailto:chornenkyi.o.o@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0001-9479-1776>

## **THE ROLE OF AGENT-BASED MODELING AND COMPUTER SIMULATIONS IN POLITICAL SCIENCE**

It considers opportunities for using computer agent-based modeling in studies related to political process analyses. Gives information about the historical context of computer simulation based on agent model implementation, and emphasizes the significance of T. Shelling and R. Axelrod models. It is noted usefulness of this method is applied to complex dynamic system analysis, wherein participants have complex interconnections, and their behavior depends on the situation.

Gives information about an agent-based model's main elements, especially space and agents, and describes what they can represent. Draws attention to the importance of the researcher's study goal understanding using this approach, which in turn affects the model parameters setting that determines model will be abstract, realistic, or mixed.

Considered opportunities applying agent-based modeling for the course of social and political processes forecasting, and showed the opinion of other researchers on this issue.

Provides examples of ten studies related to the analysis of various political processes, the authors of which applied this approach and their own agent models with different realism levels.

Shows possibilities applied of computer simulations for forecasting the results of future and reproducing the results of past elections, evaluating election campaign strategies, the emergence of ideological polarization, modeling political discourse, evaluating the effectiveness of implemented

policies, analyzing the risks of social instability in the state under the influence of external and internal factors.

It is concluded that agent-based modeling can be a helpful tool in the hands of political scientists and noted that the use of this approach significantly expands the possibilities for analyzing complex political processes.

Keywords: *agent-based modeling, simulation, agent, social sciences, political science.*

## REFERENCES

1. Chornenkyi Oleksandr. 2022. Use of Information and Communication Technologies for Political Science Research. *The journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series «Issues of Political Science»* 42: 38-44. <https://doi.org/10.26565/2220-8089-2022-42-06>
2. Klein, D., Marx, J., & Fischbach, K. 2018. Agent-based modeling in social science, history, and philosophy. An introduction. *Historical Social Research, Historische Sozial for schung* 43(1): 7-27. <https://doi.org/10.12759/hsr.43.2018.1.7-27>
3. Fischbach, K., Marx, J. & Weitzel, T. 2021. Agent-based modeling in social sciences, *Journal of Business Economics* 91: 1263–1270. <https://doi.org/10.1007/s11573-021-01070-9>
4. Voinea, C. F. 2016. *Political Attitudes. Computational and Simulation Modelling*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. 306 p.
5. Johnson, P. E. 1999. Simulation Modeling in Political Science, *American Behavioral Scientist* Vol. 42, Iss. 10 : 1509-1530. <https://doi.org/10.1177/0002764299042010004>
6. Axelrod, R. 1980. Effective choice in the prisoner's dilemma, *Journal of conflict resolution*, Vol. 24, Iss. 1, 3-25. <https://doi.org/10.1177/002200278002400101>
7. Schelling, T. C. 1969. Models of segregation, *The American economic review* 59(2), 488-493.
8. Bruch, E., & Atwell, J. 2015. Agent-based model sinempirical social research. *Sociological methods & research*, Vol. 44, Iss. 2 : 186-221. <https://doi.org/10.1177/0049124113506405>
9. Macy, M. W. & Willer, R. 2002. From factors to actors: Computational sociology and agent-based modeling, *Annual Review of Sociology*, Vol. 28(1): 143-166. <https://doi.org/10.1146/annurev.soc.28.110601.141117>
10. Bankes, S., Lempert, R., & Popper, S. 2002. Making computational social science effective: Epistemology, methodology, and technology, *Social Science Computer Review*, Vol. 20 Iss. 4: 377-388. <https://doi.org/10.1177/089443902237317>
11. Chattoe-Brown, E. 2023. Is agent-based modelling the future of prediction? *International Journal of Social Research Methodology* Vol. 26 Iss. 2: 143-155. <https://doi.org/10.1080/13645579.2022.2137923>
12. Gao, M., Wang, Z., Wang, K., Liu, C., & Tang, S. 2022. Forecasting elections with agent-based modeling: Two live experiments, *Plos one*, 17(6), e0270194. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270194>
13. Kononovicius, A. 2017. Empirical analysis and agent-based modeling of the Lithuanian parliamentary elections. *Complexity*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/7354642>
14. Madsen, J. K., & Pilditch, T. D. 2018. A method for evaluating cognitively informed micro-targeted campaign strategies: An agent-based model proof of principle. *PloS one* 13(4): e0193909. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193909>
15. Axelrod, R., Daymude, J. J., & Forrest, S. 2021. Preventing extreme polarization of political attitudes, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(50), e2102139118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2102139118>
16. Schweighofer, S., Garcia, D., & Schweitzer, F. 2020. An agent-based model of multi-dimensional opinion dynamics and opinion alignment. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 30(9) <https://doi.org/10.1063/5.0007523>
17. Leifeld, P. 2014. Polarization of coalitions in an agent-based model of political discourse, *Computational Social Networks* 1(1), 1-22. <https://doi.org/10.1186/s40649-014-0007-y>
18. Dosi, G., Roventini, A., & Russo, E. 2021. Public policies and the art of catching up: matching the historical evidence with a multicountry agent-based model, *Industrial and Corporate Change*, Vol. 30, Iss. 4: 1011-1036. <https://doi.org/10.1093/icc/dtaa057>
19. Ceschi, A., Sartori, R., Dickert, S., Scalco, A., Tur, E. M., Tommasi, F., & Delfini, K. 2021. Testing a norm-based policy for waste management: An agent-based modeling simulation on nudging recycling behavior, *Journal of Environmental Management*, 294, 112938. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112938>
20. Natalini, D., Bravo, G., & Jones, A. W. 2019. Global food security and food riots—an agent-based modelling approach. *Food Security*, 11, 1153-1173. <https://doi.org/10.1007/s12571-017-0693-z>
21. Cioffi-Revilla, C., & Rouleau, M. 2010. MASON RebeLand: An agent-based model of politics, environment, and insurgency. *International Studies Review* 12(1), 31-52. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2486.2009.00911.x>

The article was received by the editors 24.03.2023.

The article is recommended for printing 05.05.2023