

УДК 004.9:518.85

DOI: 10.32626/2308-5916.2025-28.49-62

Є. В. Івохін, д-р фіз.-мат. наук, професор,

Л. Т. Аджубей, канд. фіз.-мат. наук,

Д. І. Афонін

Київський національний університет
імені Тараса Шевченка, м. Київ

ПРО ОДИН ГІБРИДНИЙ ПІДХІД ДО АГЕНТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ІНФОРМАЦІЙНОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ

У статті розглянуто проблему моделювання процесів поширення інформації в соціальних мережах з урахуванням як індивідуальної поведінки користувачів, так і структурних особливостей мережі. На основі моделі змішаного впливу, що базуються на автоматних підходах у поєднанні з агентним моделюванням, запропоновано гібридний підхід, завдяки якому досягається більш реалістичне відтворення динаміки інформаційного поширення. Поведінка користувачів формалізується за допомогою скінченних автоматів, а вплив у мережі описується через моделі спеціального вигляду, які враховують міжособистісну комунікацію та зовнішній інформаційний тиск у вигляді засобів масової інформації. Визначено фактори впливу на процеси поширення та сприйняття інформації різними користувачами. Формалізовано математичну модель процесу поширення інформації з урахуванням характеристики змішаного впливу. Сформульовано процедуру чисельного моделювання процесу розповсюдження на основі отриманої автоматно-агентної моделі. Середовище інформаційного поширення розглядається у вигляді плоского графу. З використанням запропонованої моделі проведено порівняльне моделювання процесу інформаційного розповсюдження з поведінкою класичної гри «республіканці–демократи». Результати показали, що гібридний підхід дозволяє більш точно описувати різні сценарії поширення ідей та враховує ефект групової структури соціальної мережі. Наведено графіки, що демонструють модельні процеси поширення. Відмічено ефект поступового характеру процесу розповсюдження ідей з різними можливими сценаріями. Заплановано поглиблення результатів з врахуванням можливості зміни користувачами своєї думки після прийняття однієї з наявних ідей. Отримані висновки можуть бути використані для імітації та прогнозування поведінки інформаційних процесів, розробки стратегій протидії дезінформації та оптимізації комунікаційних кампаній у цифровому середовищі.

Ключові слова: соціальні мережі, поширення інформації, агентне моделювання, скінченні автомати, гібридна модель, інформаційний вплив.

Вступ. Ефективне моделювання процесів поширення інформації в соціальних мережах вимагає врахування як індивідуальної поведінки користувачів, так і структурних особливостей мережевого середовища. Однак більшість існуючих моделей або надто спрощують поведінкові аспекти агентів, або не відображають складної динаміки взаємодії в масштабі мережі. У цьому контексті виникає потреба в розробці нових гібридних підходів, які б об'єднували переваги різних методів моделювання.

Одним із перспективних напрямів досліджень є використання агентних моделей, що базуються на підходах математичної теорії автоматів. У цьому контексті агентами вважають користувачів соціальних мереж, які активно поширюють інформацію. Для опису їхньої поведінки в межах функціональної структури соціальних мереж доцільно застосовувати моделі скінченних автоматів та їх розширених модифікацій. Поєднання автоматних моделей з іншими моделями відкриває нові можливості для прогнозування інформаційних процесів, розробки стратегій боротьби зі шкідливим контентом, а також оптимізації комунікаційних кампаній у сфері бізнесу, політики та соціальної активності.

Детальний аналіз процесів поширення інформації за допомогою гібридних моделей дозволяє визначити вплив індивідуальних дій користувачів на загальні інформаційні потоки та оцінити можливості корекції цих процесів шляхом цілеспрямованого втручання.

Актуальність. Сучасні соціальні мережі є складними, динамічними структурами, в яких інформація поширюється не лише через прості соціальні взаємодії, а й під впливом цілеспрямованих інформаційно-психологічних кампаній. Традиційні агентні моделі, такі як модель конкуренції [1], модель порогового впливу [2], модель широкого поширення [3], модель впливу [4] та модель поширення інновацій [5], зосереджуються на окремих аспектах розповсюдження інформації. Втім, їхня обмежена спеціалізація унеможливорює повноцінне відтворення багаторівневих сценаріїв інформаційного впливу.

Наразі особливу актуальність набувають моделі змішаного впливу, які базуються на автоматних підходах у поєднанні з агентним моделюванням. Як показано у роботі [6], автоматні структури, зокрема скінченні автомати, дозволяють формалізувати поведінкові стани агентів, що реагують на різні стимули інформаційного середовища. Водночас використання гібридизації з класичними агентними методами забезпечує масштабованість і адаптивність моделі до реальних умов соціальних платформ.

Такі гібридні автоматно-агентні моделі дозволяють описувати сценарії інформаційно-психологічного впливу на суспільство, де важливу роль відіграє не лише структурна топологія мережі, а й логіка переходів між поведінковими станами агентів. Врахування моделей змішаного впливу [7] сприяє глибшому аналізу інформаційної динаміки, а також підвищенню точності прогнозування і формуванню ефективних стратегій протидії дезінформації, маніпулятивним кампаніям та іншим формам цифрових загроз.

Метою даного дослідження є розробка та впровадження гібридної автоматно-агентної моделі для дослідження процесів поширення інформації в соціальних мережах на основі врахуванням індивідуальних поведінкових особливостей користувачів, структурних характеристик мережі та механізмів змішаного інформаційного впливу. Запропонована модель має дозволити більш точно відтворювати процеси інформаційної динаміки та аналізувати сценарії інформаційно-психологічного впливу на користувачів.

Методика досліджень. В рамках даного дослідження основну увагу зосереджено на використанні гібридного підходу до моделювання поширення інформації в соціальних мережах, що поєднує автоматні моделі та концепцію змішаного впливу. Поведінку користувачів описано за допомогою скінченних автоматів, які дозволяють формалізувати стани агентів та переходи між ними під впливом різних інформаційних сигналів. Такий підхід забезпечує структуроване й гнучке представлення індивідуальної реакції на інформаційні стимули. У межах гібридної моделі автоматне ядро інтегрується в агентну архітектуру, що дозволяє враховувати як локальні поведінкові закономірності, так і глобальні властивості соціальної мережі. Основою для побудови сценаріїв слугують моделі змішаного впливу, що поєднують елементи масового, цільового та міжособистісного інформаційного впливу, що робить модель більш реалістичною в умовах сучасного цифрового середовища.

Визначимо фактори впливу на процеси поширення та сприйняття інформації різними користувачами, зосередивши увагу на такому:

1. Характер інформації. Будь-яка інформація може бути класифікована за наступними категоріями: загально важлива (початок війни або пандемії), важлива для певної групи (проведення виборів), цікава більшості (результати спортивних змагань, оголошення переможців премії «Оскар») або окремим групам (проведення наукової конференції). В залежності від класу інформації, що поширюється визначається і загальний коефіцієнт її сприйняття кожним окремим користувачем.
2. Спосіб подання інформації. Кожен користувач, що поширює інформацію, по-своєму подає її, що впливає на її сприйняття іншими користувачами.

3. Джерело поширення. Якщо інформація надходить від довіреного джерела, то користувач з великою ймовірністю сприймає її та починає поширювати, вважаючи її достовірною. Кожен користувач має свої довірливі джерела, але загалом можна підсумувати, що користувачі в мережі створюють групи, що в свою чергу мають однакові достовірні джерела інформації (тобто користувачі однієї групи схильні довіряти одним і тим самим джерелам).

Постановка задачі. Виходячи з наведених факторів впливу, розглянемо способи формалізації процесу розповсюдження інформації у соціальних мережах на основі імовірного автомату $M = \langle Q, V, \Phi \rangle$, функціонування якого розглядається на графі V , де:

- Q – множина станів;
- набір вузлів $v_i \in V, i \in 1, \dots, N$, що відповідає користувачам мережі;
- кожен вузол належить до певної групи $g(v_i) \in S_{group}$, де S_{group} – множина груп (кластерів), на які поділена соціальна мережа;
- Φ – матриця перехідних імовірностей.

Припустимо, що визначено можливі стани Q користувачів:

- неінформований – користувач, ще не має жодної інформації, щодо теми;
- обізнаний – користувач ознайомився з темою, але не поширює її;
- розповсюджувач – поширює інформацію.

Кожен вузол графу може перебувати у трьох станах:

- S_0 (неінформований) – інформація невідома;
- S_1 (інформований) – отримав інформацію;
- S_2 (розповсюджувач) – активний розповсюджувач інформації.

Таким чином, маємо множину станів $Q = \{S_0, S_1, S_2\}$, а кожен з вузлів $v_i \in V$ характеризується параметрами:

- k_0 – ймовірність підтримки ідеї при одному комунікаційному контакті;
- p – ймовірність комунікації на тему;
- k_1 – ймовірність підтримати ідею, що поширюється, $k_1 = k_0 * p$;
- r – ймовірність забування інновації, закладеної у контент, протягом одиничного інтервалу часу;
- l – ймовірність, що користувач поширюватиме інформацію самостійно серед свого оточення.

Формалізуємо математичну модель процесу з урахуванням змішаного впливу [7]. В даному випадку динаміку зміни частки осіб $x(t)$, які прийняли ідею протягом одного інтервалу часу, можна описати наступним різницеvim співвідношенням:

$$x(t) = Ax^2(t-1) + Bx(t-1) + C, \quad (1)$$

де $A = -\frac{k_1 n_{target}}{N}$, $B = k_1 n_{target} - \frac{Wk_2 k_3}{N-r}$, $C = Wk_2 k_3$, N – чисельність користувачів у мережі, n_{target} – чисельність користувачів, на яких впливають агенти (кількість сусідніх вершин зі станом S_2), k_2 – середня кількість ознайомлень членів спільноти з одним повідомленням з контентом для поширення за одиничний інтервал часу, k_3 – ймовірність «підтримки» ідеї після ознайомлення з повідомленням у засобах масової інформації (ЗМІ), W – функція масовості та регулярності ЗМІ, що пропагує інформацію (можна покласти, що $W = const$, що є прийнятним для стаціонарних періодів пропагандистської кампанії).

Підставивши A, B, C у рівняння отримуємо:

$$x(t) = -\frac{k_1 n_{target}}{N} x^2(t-1) + \left(k_1 n_{target} - \frac{Wk_2 k_3}{N-r} \right) x(t-1) + Wk_2 k_3.$$

Увівши змінну щільності (відносної чисельності) агентів, що сприймають нову ідею, $f(t) = \frac{x(t)}{N}$, можемо перейти до рівняння для опису динаміки зростання щільності:

$$x(t) = -\frac{k_1 n_{target}}{N} (Nf(t-1))^2 + \left(k_1 n_{target} - \frac{Wk_2 k_3}{N-r} \right) Nf(t-1) + Wk_2 k_3,$$

$$x(t) = -k_1 n_{target} Nf^2(t-1) + \left(Nk_1 n_{target} - \frac{NWk_2 k_3}{N-r} \right) f(t-1) + Wk_2 k_3.$$

Поділимо обидві частини на N , щоб перейти до функції $f(t)$:

$$f(t) = -k_1 n_{target} f^2(t-1) + \left(k_1 n_{target} - \frac{Wk_2 k_3}{N-r} \right) f(t-1) + \frac{Wk_2 k_3}{N}.$$

Позначимо $M = \frac{W}{N}$ – число пропагандистських повідомлень у ЗМІ в одну одиницю часу одного члена соціуму, і припустимо, що

$$\frac{1}{N-r} \approx \frac{1}{N} \text{ великих значеннях } N. \text{ Тоді}$$

$$\begin{aligned}
 f(t) &= -k_1 n_{target} f^2(t-1) + (k_1 n_{target} - Mk_2 k_3) f(t-1) + Mk_2 k_3 = \\
 &= -k_1 n_{target} f^2(t-1) + k_1 n_{target} f(t-1) - Mk_2 k_3 f(t-1) + Mk_2 k_3 = \\
 &= k_1 n_{target} f(t-1) [1 - f(t-1)] + Mk_2 k_3 [1 - f(t-1)].
 \end{aligned}$$

Припустивши, що зміни $f(t)$ відбуваються плавно, можна перейти до похідної

$$\frac{df(t)}{dt} \approx f(t) - f(t-1),$$

і зовнішній вплив рівняння набуває вигляду:

$$\frac{df(t)}{dt} = k_1 n_{target} [1 - f(t)] \cdot f(t) + Mk_2 k_3 [1 - f(t)]. \quad (2)$$

Тоді результат розв'язування рівняння

$$f(t) = \frac{1 - \frac{Mk_2 k_3 (1 - f_0)}{Mk_2 k_3 + k_1 n_{target} f_0} e^{-(Mk_2 k_3 + k_1 n_{target})t}}{1 + \frac{k_1 n_{target} (1 - f_0)}{Mk_2 k_3 + k_1 n_{target} f_0} e^{-(Mk_2 k_3 + k_1 n_{target})t}}, \quad (3)$$

де $f_0 = f(0) = \frac{a}{N}$ – частка агентів, що починають поширювати інформацію, a – кількість початкових агентів-поширювачів.

Для опису функціонування ймовірнісного автомату сформуємо матрицю перехідних імовірностей. Для вузла $v_i \in V$, який у даний момент у стані S_j , переходи виглядають як:

$$\Phi_i(t) = \begin{bmatrix} P_{(S_0 \rightarrow S_0)}(t) & P_{(S_0 \rightarrow S_1)}(t) & P_{(S_0 \rightarrow S_2)}(t) \\ P_{(S_1 \rightarrow S_0)}(t) & P_{(S_1 \rightarrow S_1)}(t) & P_{(S_1 \rightarrow S_2)}(t) \\ P_{(S_2 \rightarrow S_0)}(t) & P_{(S_2 \rightarrow S_1)}(t) & P_{(S_2 \rightarrow S_2)}(t) \end{bmatrix}$$

Тепер визначимо ймовірності для кожного з переходів. $P_{(S_0 \rightarrow S_2)}(t) = P_{(S_1 \rightarrow S_0)}(t) = P_{(S_2 \rightarrow S_0)}(t) = 0, \forall t$ оскільки такі ситуації неможливі.

$$P_{(S_0 \rightarrow S_1)}(t) = k_1 \cdot n_{spread i}(t) \cdot f(t) + Mk_2 k_3,$$

де $n_{spread i}(t)$ – кількість сусідів вузла $v_i \in V$ у стані S_2 . Тоді

$$P_{(S_0 \rightarrow S_0)}(t) = 1 - P_{(S_0 \rightarrow S_1)}(t) = 1 - (k_1 \cdot n_{spread i}(t) \cdot f(t) + Mk_2 k_3)$$

$$P_{(S_1 \rightarrow S_2)}(t) = l, \quad P_{(S_1 \rightarrow S_1)}(t) = 1 - l,$$

$$P_{(S_2 \rightarrow S_1)}(t) = r, \quad P_{(S_2 \rightarrow S_2)}(t) = 1 - r.$$

Тепер k_1 потрібно змінити індивідуально для кожного контакту залежно від групової близькості. Нехай

$$p_{ij} = \begin{cases} p_{in}, & \text{якщо } g(v_i) = g(v_j) \text{ (внутрішньогрупова),} \\ p_{out}, & \text{якщо } g(v_i) \neq g(v_j) \text{ (міжгрупова),} \end{cases}$$

де p_{in} – ймовірність комунікації на тему u випадку, якщо вузли знаходяться в одній і тій самій групі, p_{out} – ймовірність комунікації на тему u випадку, якщо вузли знаходяться в двох різних групах, p_{ij} – ймовірність комунікації на тему між вузлами v_i та v_j , $v_i, v_j \in V$.

Тоді ймовірність підтримати ідею, що поширюється задаємо формулою

$$k_{1i}^*(t) = \sum_{v_j \in \mathcal{N}_{spread i}} k_0 \cdot p_{ij},$$

де $\mathcal{N}_{spread}$ – множина всіх вузлів, що мають стан S_2 (поширюють інформацію), $\mathcal{N}_{spread i}$ – множина сусідів вузла v_i , що мають стан S_2 ($\mathcal{N}_{spread i} \subset \mathcal{N}_{spread}$).

Звідси матриця набуде наступного вигляду:

$$\Phi_i(t) = \begin{bmatrix} 1 - (k_{1i}^*(t) \cdot n_{spread i}(t) \cdot f(t) + Mk_2k_3) & k_{1i}^*(t) \cdot n_{spread i}(t) \cdot f(t) + Mk_2k_3 & 0 \\ 0 & 1-l & l \\ 0 & r & 1-r \end{bmatrix}.$$

Варто також знайти коефіцієнт k_1 , що використовується для розрахунку щільності. Його наближене значення k_1^{**} можна підрахувати так:

$$k_1^{**}(t) = \frac{1}{N} \sum_i \sum_{j \in \mathcal{N}_{spread i}} k_0 \cdot p_{ij}.$$

Сформулюємо процедуру чисельного моделювання процесу роботи автомату. Розглянемо граф, що репрезентує середовище інформаційного впливу (соціальну мережу). Визначимо групи S_{group} , на які поділена соціальна мережа. Для кожного вузла визначимо групу $g(v_i) \in S_{group}$ та сталі коефіцієнти k_0 , p , r , l . Серед наявних вузлів вибираються агенти, що почнуть розповсюджувати інформацію, вони одразу переходять у стан S_2 .

Далі на кожному кроці процесу моделювання (за дискретним часом):

- Розраховується $f(t)$ – частка агентів у станах S_1 та S_2 .
- Для кожного вузла обчислюється кількість сусідів $n_{spread_i}(t)$ у стані S_2 та перехідна матриця $\Phi_i(t)$.
- Після чого відповідна перехідна матриця застосовується до кожного вузла.

Процедура моделювання завершується, якщо:

- всі клітини перейшли у стан S_1 або S_2 ;
- після певної кількості ітерацій немає змін у станах клітин, що свідчить про відсутність подальшого поширення інформації.

Результати тестування. Для перевірки моделі порівняємо її з класичною грою «республіканці–демократи» концепція якої була вперше описана у статті Гарольда Хотеллінга «Stability in Competition» [8]. Для порівняння використаємо алгоритм при якому кожен користувач, що не визначився буде наслідувати ту саму ідею, що і більшість його сусідів. Для коректності порівняння моделювання відбуватиметься у графі поділеному на групи, алгоритм створення якого вже було описано у даній статті.

При моделюванні використано наступні параметри:

- Кількість користувачів мережі: 1000
- Кількість груп: 10
- Кількість початкових прихильників республіканців: 5
- Кількість початкових прихильників демократів: 5

В результаті було отримано показники процесів інформаційного поширення: на рис. 1 показано загальну динаміку поширення, а на рис. 2 – як інформація поширювалась у кожній з груп.

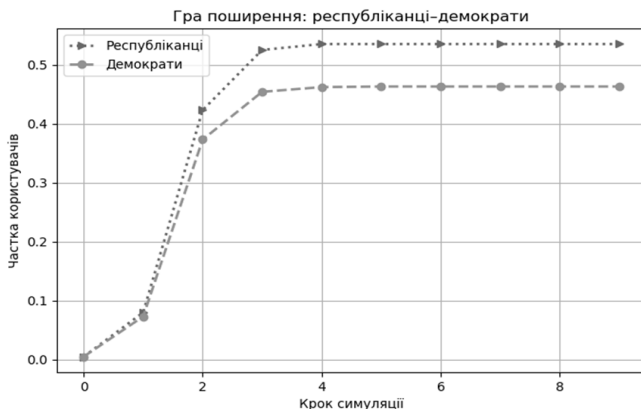


Рис. 1. Гра «республіканці – демократи» (загальна динаміка)

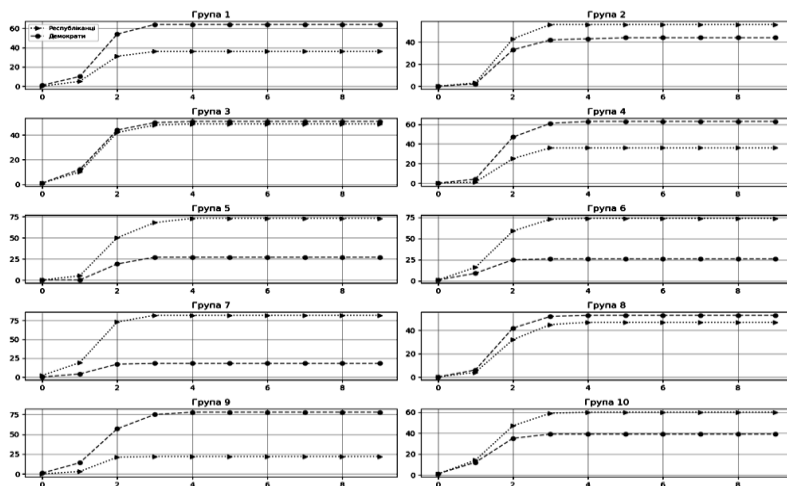


Рис. 2. Гра «республіканці–демократи» (динаміка по групах)

Далі в роботі наведено результати моделювання з використанням запропонованої моделі. Для коректного порівняння аналогічно до гри «республіканці–демократи» будуть поширюватись дві ідеї (А та В) відповідно до описаного вище алгоритму, зазначимо, що користувачі можуть ставати лише прихильником однієї з ідей.

При моделюванні використано наступні параметри:

- Кількість користувачів мережі: 1000
- Кількість груп: 10
- Кількість початкових прихильників ідеї А: 5
- Кількість початкових прихильників ідеї В: 5
- $k_0 = 0,4$;
- $p_{in} = 0,3$;
- $p_{out} = 0,05$;
- $r = 0,05$;
- $l = 0,1$;
- $M = 0,1$;
- $k_2 = 0,5$;
- $k_3 = 0,4$.

На основі проведених чисельних розрахунків отримано результати моделювання процесу поширення ідей, графіки яких наведено на рис. 3 та 4: графік на рис. 3 показує загальну динаміку поширення, а на рис. 4 – як інформація поширювалась у кожній з груп.

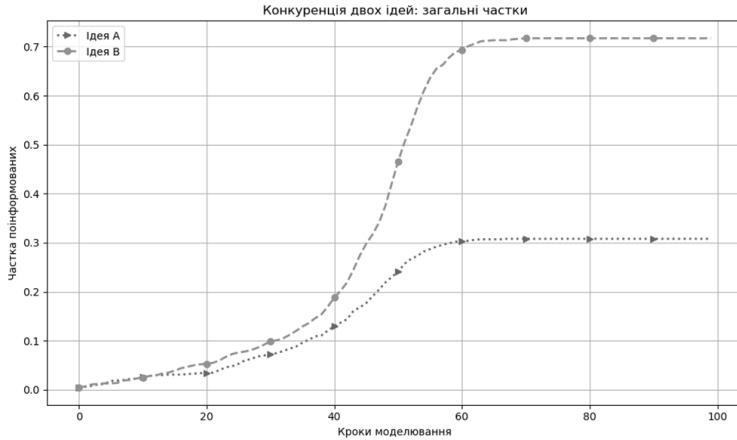


Рис. 3. Загальна динаміка поширення ідей

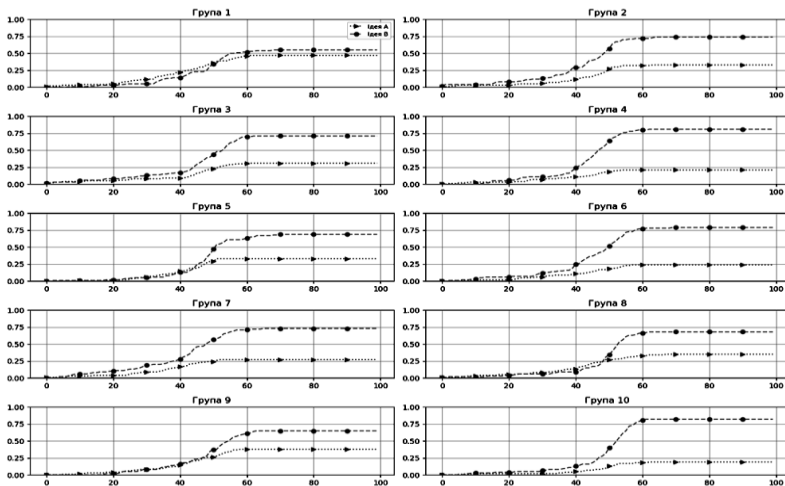


Рис. 4. Динаміка поширення ідей по групах

Порівняння результатів гри та запропонованої моделі показує, що гібридне моделювання дозволяє точніше налаштовувати умови поширення інформації. На відміну від гри «республіканці–демократи», де ідеї поширюються дуже швидко, нова модель більш реалістично відображає процеси розповсюдження, у яких передача ідей займає певний час.

Тепер проведемо чисельне моделювання з додатковою умовою, що прихильники кожної з конкурентних ідей будуть зосереджені в одній з груп. Тобто розглядається ситуація, де в 2 з 10 груп мережі з'являються дві різні ідеї, які починають поширюватися мережею.

На рис. 5 та рис. 6 наведено результати гри «республіканці–демократи» за умови, що республіканці «виникли» групі 0, а демократи – у групі 9.

Можна побачити, що рівень концентрації агентів впливу у початкових групах поширення відбувалось дуже стрімко, але у подальшому результати не відрізняються від попереднього випадкового розподілу агентів впливу.

Нарешті, проведемо чисельне моделювання на основі запропонованого гібридного методу. Аналогічно, зосередимо початкових прихильників ідеї А у групі 0, а ідеї В – групі 9. Рис. 7 та 8 демонструють отримані при цьому результати.

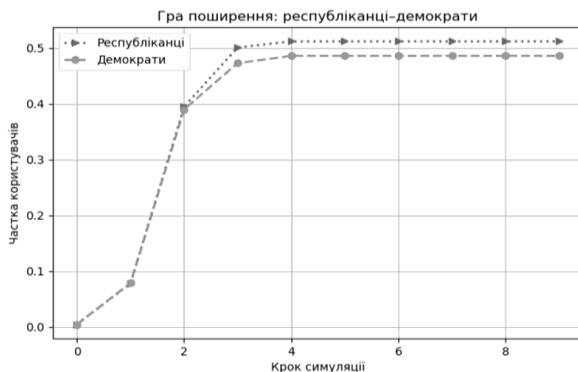


Рис. 5. Загальна динаміка у грі «республіканці – демократи» при поширенні з окремих груп

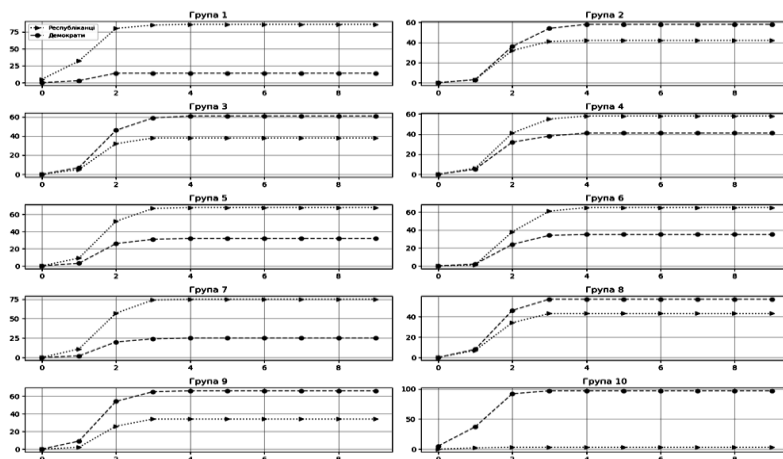


Рис. 6. Динаміка гри «республіканці – демократи» по групах при поширенні з окремих груп

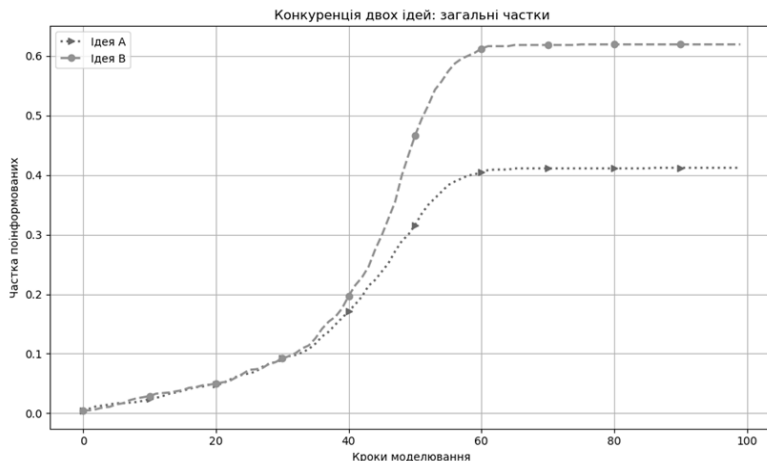


Рис. 7. Загальна динаміка у моделі при поширенні з окремих груп

На рис.7 чітко прослідковується, що ідея, яка першочергово «проникла» у групу, зазвичай стає більш популярною. Процес розповсюдження на рис.8 має схожі тенденції, але існують випадки, коли першочергове проникнення однієї ідеї не гарантує її обов'язкову домінацію (групи 2 та 4 це демонструють).

Висновки. У даній роботі запропоновано та реалізовано гібридну автоматно-агентну модель для дослідження процесів поширення інформації в соціальних мережах. На відміну від класичних підходів, які часто надто спрощують динаміку взаємодії між користувачами, розроблена модель поєднує переваги скінченних автоматів і методів агентного моделювання. Це дозволило формалізувати індивідуальні поведінкові реакції користувачів, врахувати групову структуру соціальних мереж, а також описати вплив зовнішніх джерел інформації (ЗМІ).

Варто зазначити, що гібридна модель описує поступове поширення ідей з різними можливими сценаріями, на відміну від гри «республіканці–демократи», де ідеї поширюються швидко і однотипно. Модель також враховує природну кластеризацію соціальних мереж і дозволяє моделювати передачу інформації між окремими групами.

Таким чином, запропонована модель є більш універсальним інструментом для аналізу інформаційних процесів у соціальних мережах. Вона може застосовуватись для прогнозування поширення ідей, виявлення потенційних загроз, пов'язаних із дезінформацією, а також для оптимізації інформаційно-психологічних кампаній у бізнесі, політиці та суспільному житті.

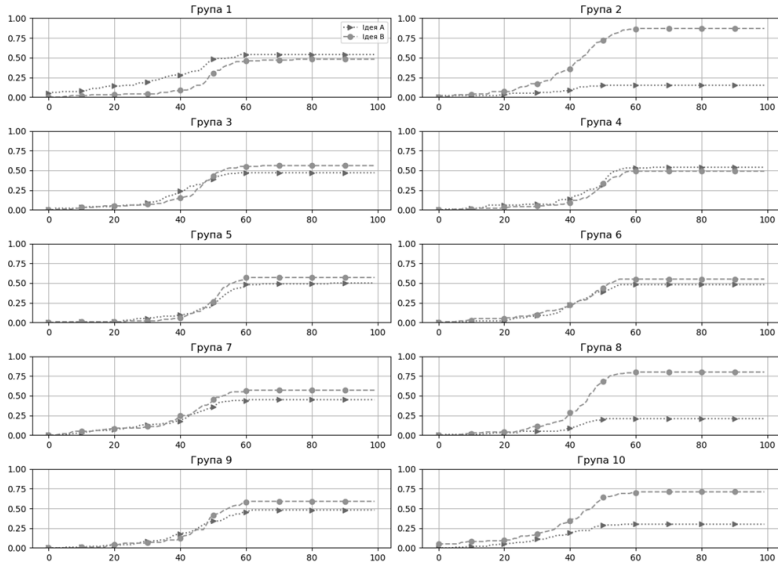


Рис. 8. *Моделювання розповсюдження по групах при поширенні ідей з окремих груп*

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на покращення даного підходу і врахування можливості зміни користувачами своєї думки після прийняття однієї з ідей. Також одним із можливих напрямків може бути моделювання взаємодії кількох конкуруючих інформаційних кампаній із різними ресурсами, а також врахування, що у випадку кількох ідей не всі з них можуть бути взаємно виключними, що дозволяє допустити можливість паралельного поширення.

Список використаних джерел:

1. Huang Y., Thornton K. M., Efthimiadis E. N. Competition in social media among heterogeneous agents. *In Proceedings of the 24th ACM International on Conference on Information and Knowledge Management*. 2015.
2. Ivohin E. V., Adhubey L. T., Gavrilenko O. V., Naumenko Yu. O. Research of dynamics of information distribution processes based on diffusion hybrid models. *Радіoeлектроніка, інформатика, управління*. 2020. № 2. С. 129-136. DOI: 10.15588/1607-3274-2020-2-13.
3. Centola D. The spread of behavior in an online social network experiment. *Science*. 2010. Vol. 329. P. 1194-1197. DOI:10.1126/science.1185231.
4. Афонін Д. І. Моделювання поширення інформації в соціальних мережах з агентами. *In Proceedings of the XXIII International Scientific Conference «Neural network technologies and their applications NNTA-2024»*. 2024. С. 59-63.

5. Guidolin M. Innovation Diffusion Models: Theory and Practice. John Wiley. 2023.
6. Afonin D. Modeling information diffusion processes in social networks with agents. 2023. URL: <https://hdl.handle.net/20.500.12319/16195>.
7. Артемов В., Хорошко В., Хохлячова Ю. Моделювання інформаційно-психологічного впливу на суспільство. *Захист інформації*. 2022. Т. 24. № 4. С. 183-190
8. Hotelling H. Stability in Competition. *The Economic Journal*. 1929. Vol. 39. № 153. P. 41-57.

ON A HYBRID APPROACH TO AGENT-BASED MODELING OF INFORMATION DISSEMINATION PROCESSES

The article considers the problem of modeling information dissemination processes in social networks, taking into account both the individual behavior of users and the structural features of the network. Based on mixed-effect models based on automata approaches in combination with agent-based modeling, a hybrid approach is proposed, which achieves a more realistic reproduction of the dynamics of information dissemination. User behavior is formalized using finite automata, and network influence is described through special models that take into account interpersonal communication and external information pressure through mass media. Factors influencing the processes of dissemination and perception of information by different users are determined. A mathematical model of the information dissemination process is formalized taking into account the characteristics of mixed influence. A procedure for numerical simulation of the dissemination process is formulated based on the resulting automata-agent model. The information dissemination environment is considered using a planar graph. Using the proposed model, a comparative modeling of the information dissemination process with the behavior of the classic "Republicans-Democrats" game is conducted. The results showed that the hybrid approach allows for a more accurate description of different scenarios for the dissemination of ideas and takes into account the effect of the group structure of the social network. Graphs demonstrating modeled dissemination processes are presented. The gradual nature of the idea dissemination process, with various possible scenarios, is highlighted. Further research is planned, taking into account the possibility of users changing their minds after adopting one of the existing ideas. The findings can be used to simulate and predict the behavior of information processes, develop strategies to counter disinformation, and optimize digital communications campaigns.

Key words: social networks, information dissemination, agent-based modeling, finite state machines, hybrid model, information impact.

Отримано: 24.09.2025