

УДК 519.72

DOI: <https://doi.org/10.17721/1812-5409.2022/1.8>

Ваврик П.Р., аспірант

P. R. Vavryk, post-graduate

## Про один підхід до формалізації процесу поширення інформації на основі агрегації, що обмежена дифузійною

## One approach to formalizing the process of information dissemination based on diffusion-limited aggregation

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 83000, м.Київ, Глушкова 4д,  
e-mail: petro.vavryk@gmail.com

Taras Shevchenko National University of Kyiv,  
83000, Kyiv, Glushkova st., 4d,  
e-mail: petro.vavryk@gmail.com

У цій статті розглядається один з підходів до формалізації процесів інформаційного поширення на основі моделі агрегації, що обмежена дифузійною, з застосуванням елементів клітинних автоматів та їх аналогів. Модель описує динаміку процесу розповсюдження інформації без впливу засобів мас-медіа, шляхом врахування фактів обміну інформацією, який відбувається при комунікації між учасниками довільної цільової аудиторії. Вважається, що процес характеризується властивістю само подібності. Запропоновано підхід, який дозволяє досліджувати динаміку процесів інформаційного поширення з урахуванням ставлення учасників групи один до одного та ставлення учасників до вхідної інформації. В якості результату отримано оцінку ефективності процесу розповсюдження інформації, яка дає можливість зробити висновки щодо успішності заходів просування інформації. Для демонстрації змодельованих на основі підходу процесів поширення інформації наведено результати чисельних експериментів, у яких реалізація процедури обміну інформацією кожної особи обмежена трьома учасниками цільової групи.

*Ключові слова:* інформація, моделі розповсюдження, агрегація, дифузія, оцінка ефективності.

*This article examines one of the approaches to the formalization of information dissemination processes based on the diffusion-limited aggregation model, using elements of cellular automata and their analogs. The model describes the dynamics of the information dissemination process without the influence of the mass media by taking into account the facts of information exchange that occurs during communication between participants of an arbitrary target audience. It is believed that the process is characterized by the property of self-similarity. An approach is proposed that makes it possible to study the dynamics of information dissemination processes, taking into account the attitude of the group members to each other and the attitude of the participants to the input information. As a result, an assessment of the effectiveness of the information dissemination process was obtained, which allows drawing conclusions regarding the success of information promotion measures. To demonstrate the processes of information dissemination modeled on the basis of the approach, the results of numerical experiments are presented, in which the implementation of the information exchange procedure for each person is limited to three members of the target group.*

*Key words:* information, distribution models, aggregation, diffusion, efficiency evaluation.

Статтю представив д.т.н. Кудін В.І.

**Вступ.** У сучасному інформаційному суспільстві обсяги та вплив потоків інформації на хід соціальної еволюції надзвичайно зросли. Можна по-різному трактувати поняття «інформація». Різноманіття визначень означає, що наразі загальноприйнятого немає, а сутність поняття залежить від специфіки області дослідження.

Інформаційні потоки представляють собою процеси, що генерують інформацію, яка розрахована на конкретного споживача, має, як

правило, чітко задану предметну або цільову направленість, що визначається областю інтересів людини. При цьому ступінь сприйняття (впливу) інформації формується на основі рівнів запам'ятовування конкретно обраного варіанту з декількох можливих і рівноправних [1].

При цьому потрібно відмітити, що в інформаційних процесах часто підкреслюється наявність хаотичного перемішування шарів [2]. Воно утворюється в процесі розповсюдження інформації, коли у системі, яка знаходиться в певному впорядкованому режимі, виникає

хаотичний режим, котрий потім знову змінюється впорядкованим режимом, що відрізняється від вихідного наявністю, в першу чергу, більшої кількості інформації. Наявність шару перемішування є необхідною умовою розвитку інформаційного впливу. Тому він має місце у всіх процесах виникнення цінної інформації: біологічної еволюції, розвитку організму та, зрозуміло, людського суспільства.

З іншого боку, кількість отриманої інформації суттєво перевищує наші споживчі можливості. Різні варіанти ідей та думок повинні конкурувати за обмежену увагу споживача, враховуючи складні зміни в споживчій середі. І, як наслідок, особливий інтерес отримують методи, що досліджують та використовують моделі динаміки для опису процесів розповсюдження інформації.

Задачі аналітичної обробки інформаційних потоків і їх впливів потребують розв'язання задач дослідження динаміки процесів розповсюдження інформації на основі засобів імітаційного моделювання і прогнозування. Розробка моделей та методів для імітації інформаційних впливів з урахуванням динаміки в інформаційних процесах дозволяє ефективно вирішувати важливі комунікаційні проблеми, істотно підвищити рівень інформаційної безпеки держави, тактично і стратегічно прогнозувати розвиток подій інформаційного протистояння.

Для формалізації і дослідження процесів розвитку в часі інформаційного розповсюдження та впливу на соціум необхідно використовувати принципово новий інструментарій, який дозволить адекватно відобразити стан динамічної складової процесу розповсюдження інформації [3]. При цьому, розробка нових підходів не скасовує методик використання класичних способів аналізу та обробки динамічних процесів, що формулюється у вигляді так званого механістичного підходу і ґрунтується на ідеї застосування методу аналогій [4–6].

Багато процесів, що відбуваються у природі та суспільстві, характеризуються хаотичною динамікою, моделювання якої призводить до появи нових математичних структур, яким властива статистична (неповна) повторюваність. Важливе місце серед цих структур займають фрактальні кластери [7], для дослідження яких активно застосовується модель агрегації, обмеженої дифузією (diffusion limited aggregation, DLA) [8], що описує процедуру об'єднання окремих частинок у самоподібні агрегати в умовах їх випадкового блукання.

При реалізації алгоритмів моделювання DLA розрахунки потребують значних витрат часу. Тому для подальшого використання даної методики необхідна розробка варіантів оптимізації роботи цих алгоритмів, а також створення нових методів формалізації процесів, що відбуваються у явищах агрегації, обмеженої дифузією. Впровадження пропонованого підходу є особливо важливим для дослідження впливу засобів соціальних мереж на інформаційні процеси у сучасному суспільстві.

Одним з підходів для формалізації процесів інформаційного поширення є застосування клітинних автоматів або деяких їх аналогів. Розглянемо один з варіантів моделювання процесів розповсюдження інформації на основі моделі DLA у середовищі довільної цільової аудиторії. Модель описує динаміку процесу поширення інформації без впливу засобів мас-медіа, шляхом врахування фактів обміну інформацією, який відбувається при комунікації між учасниками групи.

Користувачі цільової групи, спілкуючись між собою, надають один іншому інформацію про деякий об'єкт (наприклад, про продукцію, що рекламується), для поширення даних про який здійснюються інформаційні (рекламні) заходи з метою зацікавлення у ньому якомога більше нових людей. Розповсюдження інформації можна змодельовати на основі принципів агрегації DLA, використовуючи для опису інформаційного поширення (проникнення) нейроподібну модель обміну даними у соціальній мережі.

Розглянемо модель розповсюдження інформаційного потоку та його впливу на цільову аудиторію, що характеризується властивістю самоподібності. Маємо групу, що складається з  $N$  осіб, об'єднаних у соціальну мережу. Кожна особа знайома або має можливість спілкуватися з певною кількістю  $n_i$ ,  $i = \overline{1, N}$  інших осіб з цієї аудиторії. Без обмеження загальності вважається можливим, що існують такі номери  $k = \overline{1, N}$  користувачів соцмережі, для яких  $n_k = N - 1$ . З іншого боку, зрозуміло, що, якщо користувач  $i$  знайомий з користувачем  $j$ , то й  $j$  буде знайомий з  $i$ . Таку структуру представимо графом, де кожна вершина графа представляє собою користувача мережі, а ребро між двома вершинами означає те, що ці люди знайомі або спілкуються між собою. Цей граф можна задати симетричною матрицею  $R$  зв'язності розмірності  $N \times N$ , що складається з 0 та 1, де 1 на позиції  $(i, j)$  означає, що учасник групи  $i$  спілкується з

користувачем  $j$ , а  $0$  – навпаки, у випадку відсутності контактів з користувачем  $j$ .

Крім цього, кожна особа з цільової аудиторії характеризується набором додаткових параметрів. По-перше, кожен неоднаково ставиться до побаченої/почутої інформації, в даній моделі кожен учасник має свій коефіцієнт  $I_i$ ,  $i \in \overline{[0,1]}$ ,  $i = \overline{1, N}$ , що відображає рівень його ставлення (сприйнятливості) до інформації. По-друге, кожен по-різному враховує думки своїх знайомих. В рамках моделі визначимо вектор  $T_i$ , що задає рівень довіри  $i$ -ї людини до її знайомих. Для зручності використання запишемо цей вектор у вигляді  $T_i = (t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{iN})$ , де  $t_{ij} \in [0,1]$ ,  $t_{ij} = 0$ , якщо відповідне  $r_{ij} = 0$ ,  $r_{ij}$  –  $j$ -й елемент  $i$ -го рядка матриці  $R$ ,  $t_{ii} = 1$ ,  $j = \overline{1, N}$ .

Припустимо, що на початку процесу моделювання поширення інформації проведено певну інформаційну кампанію. Розглянемо, яким чином будуть формуватися рівні розповсюдження інформації в середовищі певної цільової аудиторії, застосовуючи модель DLA для формалізації функціонування мережі обміну інформацією, що складається з нейроподібних елементів.

Задамо певний поріг  $L$  ставлення учасників групи до вхідної інформації,  $L \in [0,1]$ . При цьому, будемо вважати, що інформація ефективно впливає на особу  $i$ , якщо її рівень сприйняття  $I_i \geq L$ ,  $i = \overline{1, N}$ . Введемо вектор  $H_0$ ,  $H_0 = (h_1, h_2, \dots, h_N)$ , де  $h_i = 0$ , якщо  $I_i < L$  та  $h_i = 1$  при  $I_i \geq L$ ,  $i = \overline{1, N}$ . Зрозуміло, що вектор  $H_0$  дозволяє охарактеризувати усіх осіб з цільової аудиторії щодо їх сприйняття інформації на момент спілкування (наприклад, в результаті зовнішнього впливу).

Далі вважаємо, що у мережі відбувається спілкування між собою. Рівень сприйняття інформації у кожного учасника може з часом змінюватись як наслідок впливу з боку оточення. Зміну рівня сприйняття за часом будемо описувати моделлю нейроподібного елемента вигляду

$$\frac{dI_i(t)}{dt} = \frac{1}{n_i + 1} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N t_{ij} I_j(t) - I_i(t), \quad i = \overline{1, N}. \quad (1)$$

Зміна ставлення кожної особи з цільової аудиторії спостерігається дискретно. Поклавши без обмеження загальності інтервал дискретизації  $\Delta t = 1$ , отримуємо рівняння наступного вигляду:

$$I_i(t+1) - I_i(t) = \frac{1}{n_i + 1} \sum_{j=1}^N t_{ij} I_j(t) - I_i(t),$$

або, остаточно,

$$I_i(t+1) = \frac{1}{n_i + 1} \sum_{j=1}^N t_{ij} I_j(t), \quad (2)$$

$$i = \overline{1, N}, \quad t = 0, 1, 2, \dots$$

Тобто, у кожен момент часу перераховуються коефіцієнти ставлення до інформації усіх учасників цільової аудиторії за допомогою середнього значення думки кожного з оточення особи з урахуванням рівня довіри до кожного з оточення.

Таким чином, на кожному кроці в якості результату отримуємо набір значень  $I_i(t)$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $t = 0, 1, 2, \dots$ . Обчислюємо вектор  $H(t)$ ,  $H(0) = H_0$ , відповідно до порогу  $L$ .

Якщо на деякому кроці виконується співвідношення  $H(t) = H(t-1)$ , тобто інформаційний потік більше не впливає на жодну особу з цільової аудиторії, або, якщо вектор  $H(t) = (1, 1, \dots, 1)$ , тобто усі особи вже знаходяться під впливом зовнішнього потоку інформації, – процедура моделювання динаміки процесу розповсюдження інформації за наведеною схемою зупиняється.

Ускладнимо модель впливу та розповсюдження інформації в межах цільової аудиторії припущенням, що не всі люди позитивно ставляться до вхідного інформаційного потоку, а їх відношення може змінюватись не лише від нейтральності до позитивності. Для відображення переходу до негативного ефекту в процесі розповсюдження реклами будемо використовувати наступний підхід.

Аналогічно порогу сприйнятливості реклами  $L$  введемо поріг рівня  $Z$ , що відповідає за негативне відношення до вхідної інформації (реклами). Якщо на певному кроці сприйнятливості  $i$ -ї особи до впливу інформації (реклами)  $I_i(t)$ ,  $i = \overline{1, N}$ , стає меншою за  $Z$  ( $I_i(t) \leq Z$ ), то вважаємо, що дана особа починає негативно ставитися до змісту інформаційного потоку. Врахування негативного ставлення до інформації суттєво не змінює запропоновану схему алгоритму моделювання процесу поширення інформації. З тим самим інтервалом дискретизації  $\Delta t = 1$ , як і було розглянуто вище, на кожному кроці відбувається зміна вектору  $H(t)$ ,  $t > 0$ , що

характеризує вплив інформації на осіб з цільової аудиторії. Використовуючи поріг  $Z$ , можна спостерігати за зміною негативного ставлення до процесу розповсюдження інформації.

Таким чином, на кожній ітерації можна порахувати кількість осіб, що перейшли до позитивного ставлення, та кількість осіб, що стали негативно ставитися до вхідної інформації. Позначимо через  $E^+(t)$ ,  $t > 0$ , – кількість осіб, для яких у проміжок часу  $[t-1, t]$  справедливі нерівності  $h_i(t) > h_i(t-1)$ ,  $i = \overline{1, N}$ , а через  $E^-(t)$ ,  $t > 0$ , – відповідно, кількість осіб, для яких  $h_i(t) < h_i(t-1)$ ,  $i = \overline{1, N}$ .

За допомогою величин  $E^+(t)$  та  $E^-(t)$ ,  $t > 0$ , запишемо оцінку ефективності процесу поширення інформації, яка фактично є аналогом рентабельності витрачених для проведення інформаційної кампанії ресурсів

$$E(t) = 1 + \frac{E^+(t) - E^-(t)}{N}, \quad t > 0. \quad (3)$$

Ця величина дозволяє у довільний момент часу  $t > 0$  зробити висновки щодо оцінки ефективності організації та проведення заходів з просування інформації; визначити ефективність заходів за певний інтервал часу, як середню зважену оцінку, що базується на значеннях даного критерію в кожний момент часу з цього проміжку; та, порівнюючи між собою значення ефективності на різних інтервалах часу, зробити загальні висновки щодо розвитку та успішності заходів рекламного характеру.

З формули (3) зрозуміло, що усі значення показника належать проміжку  $[0, 2]$ . Величина  $E(t) = 1$  означає, що ефективність заходів поширення інформації має нейтральний ефект (викликає рівну кількість позитивних та негативних відгуків) у цільовій аудиторії. При значеннях  $E(t) > (<) 1$  ефективність заходів характеризується відповідними позитивними (негативними) наслідками.

Необхідно також звернути увагу на залежність схеми алгоритму від вибору порогових значень  $L$  та  $Z$ , а також від величин рівнів взаємної довіри, що подаються векторами  $T_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ . Відповідні дослідження можливі з використанням, наприклад, елементів теорії динамічного соціального впливу Латане [9] або процесів динаміки думок у соціальних мережах [10].

На рис.1-4 наведено приклади динаміки поширення інформаційного впливу за різних

умов ставлення контингенту групи до вхідної інформації та з урахуванням способів реалізації взаємозв'язків між учасниками цільової групи.

Інформаційний вплив, який починається з залучення однієї особи (позначено червоним трикутником), розповсюджується у часі за однакового позитивного ставлення учасників до вхідної інформації (рис.1), за умов рівномірного розподілу позитивного та негативного ставлення до інформації (рис. 2). Учасники цільової групи задаються у вигляді трикутників, що визначає спосіб реалізації процедури обміну інформацією: кожна особа спілкується лише з трьома зі свого оточення.

На рис.3 та 4 наведено випадки динаміки з врахуванням різного стану довіри учасників один до одного (рис.3 – за умови лише позитивного ставлення, рис.4 - за наявності позитивного та негативного ставлення до інформації).

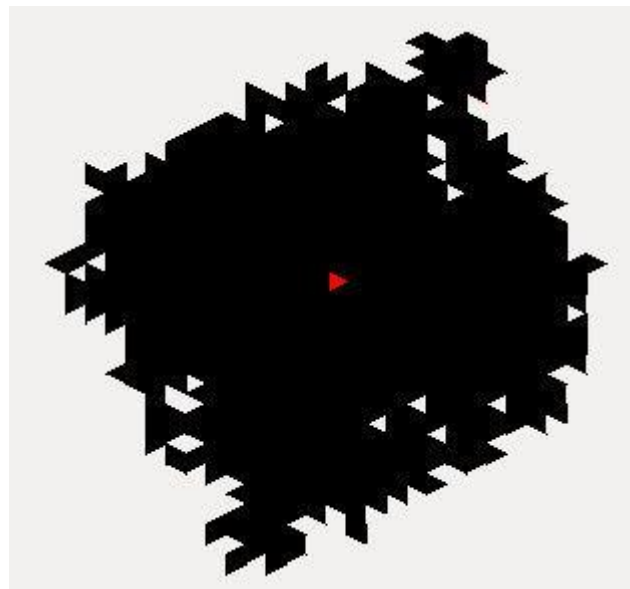


Рис.1

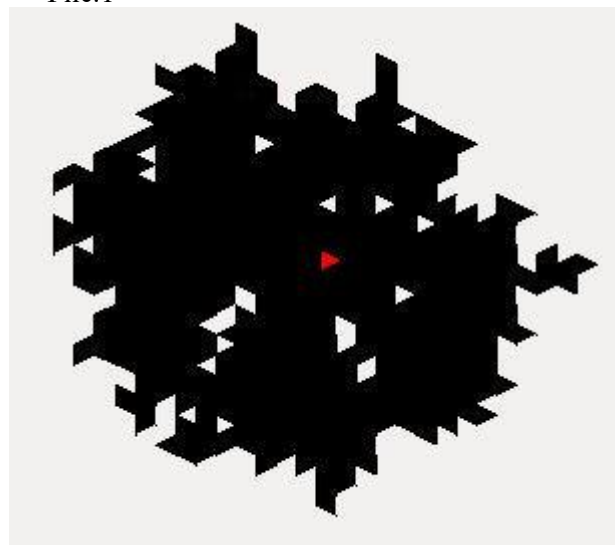


Рис.2



Рис.3



Рис.4

### Висновки

У роботі розглянуто один з підходів до формалізації процесів інформаційного поширення на основі моделі агрегації, що обмежена дифузиею, з застосуванням елементів клітинних автоматів та їх аналогів. Модель описує динаміку процесу розповсюдження інформації без впливу засобів мас-медіа, шляхом врахування фактів обміну інформацією, який відбувається при комунікації між учасниками довільної цільової аудиторії. Вважається, що процес поширення характеризується властивістю самоподібності. Запропонований підхід дозволяє досліджувати та аналізувати динаміку процесів інформаційного поширення з урахуванням ставлення учасників групи один до одного та ставлення учасників до вхідної інформації. Отримано оцінку ефективності процесу розповсюдження інформації, яка дає можливість зробити висновки щодо успішності заходів з просування інформації. Наведено результати чисельних експериментів, у яких реалізація процедури обміну інформацією кожної особи обмежена трьома учасниками цільової групи.

Зроблено висновки про необхідність подальших досліджень з використанням елементів теорії динамічного соціального впливу та врахування процесів зміни думок на основі даних соціальних мереж.

## Список використаних джерел

1. Кастлер Г. Возникновение биологической организации. – М.: Мир, 1967. – 91с
2. Чернавский Д.С. Синергетика и информация: Динамическая теория информации. – М.: Наука, 2001. – 244с.
3. Брайчевский С.М. Современные информационные потоки: актуальная проблематика /С.М. Брайчевский, Д.В. Ландэ / Научно-техническая информация. – 2005. – Сер.1. – Вып. 11. – С. 21-33.
4. Ивохин Е.В. О формализации процессов распространения информации на основе гибридных моделей диффузии/ Е.В. Ивохин, Ю.А.Науменко// Проблемы управления и информатики. – 2018. – №4. – С. 121-128.
5. Івохін Є.В. Про деякі математичні моделі формалізації соціо-інформаційних потоків /Є.В.Івохін, Л.Т.Адзубей, О.В.Гавриленко //Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія ФМН. – 2017. – Вип.2. – С.70-73.
6. Ivohin E.V. About audience overlaps in the social media /E.V. Ivohin, P.R. Vavryk, N.V. Rudoman //Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія ФМН. – 2021. – Вип.1. – С.69-73.
7. Батюков А.М. О модификации модели агрегации, ограниченной диффузией /А.М.Батюков, Н.Б.Ампилова/ Научно-техн. ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2013. – Вып.3 (174). – С.233-238.
8. Смирнов Б.М. Физика фрактальных кластеров. – М.: Наука, 1991. – 136с.
9. Latané B. The psychology of social impact// American Psychologist. – 1981. – V. 36. – P.343-356.
10. Weituo Zhang. Analytical approach for opinion dynamics on social networks// Thesis of PhD. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York. – 2012. – 68 p.

## References

1. QUASTLER, H. (1967) *The emergence of biological organization.*- New Haven and London Yale University Press. - 91p.
2. CHERNAVSKIY, D.S. (2001) *Synergetika I informatsiya: Dynamicheskaya teoriya informatsiyi.* – M., Nauka. – 244p.
3. BRAYCHEVSKIY, S.M., LANDE D.V. (2005) *Sovremennye informatsyonnye potoki: aktualnaya problematika* // Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya. - 1. – Iss.11. – Pp.21-33.
4. IVOHIN, E.V. and NAUMENKO, Yu.A. (2018) *O formalizatsiyi processov rasprostraneniya informatsiyi na osnove gibrydnykh modeley diffuziyi* // Problemy upravleniya i informatiki. - 4. – Pp.121-128.
5. IVOHIN, E.V., ADZHUBEI, L.T. and GAVRYLENKO O.V. (2017) *Pro deyaki matematychni modeli formalizatsiyi socio-informatsiynykh potokiv* // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics. – Iss.2. – Pp.70-73.
6. IVOHIN, E.V., VAVRYK, P.R. and RUDOMAN N.V. (2021) *About audience overlaps in the social media* // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series Physics & Mathematics. – Iss.1. – Pp.69-73.
7. BATUKOV, A.M. and AMPILOVA N.B. (2013) *O modifikatsiyi modeli argegatsiyi, ogranichennoy diffuziyi* // Nauchno-techn. vedomosti SPb GPU. – Iss.3 (174). – Pp. 233-238.
8. SMIRNOV B.M. (1991) *Fizika fraktalnykh klasterov.* – M.: Nauka. – 136с.
9. LATANÉ B. (1981) *The psychology of social impact*// American Psychologist. – V.36. – Pp. 343-356.
10. WEITUO ZHANG (2012) *Analytical approach for opinion dynamics on social networks*// Thesis of PhD. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York. – 2012. – 68 p.

Надійшла до редколегії 20.12.2021