МОДЕЛЬ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЧУТОК У СПІЛЬНОТІ З ОПОРТУНІСТИЧНОЮ ПОВЕДІНКОЮ

О. М. Васильєв
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
фізичний факультет, кафедра теоретичної фізики
alex@vasilev.kiev.ua

(Отримано 30 травня 2018 р.; в остаточному вигляді — 23 вересня 2018 р.)

У статті розглянуто модель, що описує поширення чуток у соціальній спільноті, члени якої схильні до опортуністичної поведінки. Модель базується на припущенні, що інформацію поширюють аґенти (члени спільноти). Кожен аґент може перебувати в одному з чотирьох станів (нейтральний, активний, опортуністичний, стан релаксації). Їх перехід з одного стану в інший описано за допомогою системи нелінійних диференціальних рівнянь. Зокрема, перехід із нейтрального в активний стан відбувається внаслідок передачі інформації від аґентів у активному стані аґентам у нейтральному стані. Побічним наслідком такої взаємодії є перехід аґентів із нейтрального стану в опортуністичний. Взаємодія аґентів в активному та опортуністичному станах має наслідком перехід аґентів з активного стану в стан релаксації. Показано, що в системі є стійкий стаціонарний розв'язок, а стаціонарна кількість аґентів в активному стані нелінійно залежить від параметра, який характеризує інтенсивність переходу з нейтрального в активний стан.

Ключові слова: інформація, чутки, аґент, спільнота, опортуністична поведінка.

DOI: https://doi.org/10.30970/jps.22.3801

PACS number(s): 89.65.−s, 89.75.−k

ВСТУП

Вільне та швидке поширення інформації суттєво впливає на характер процесів у соціальних групах. Це питання є предметом різноманітних досліджень у суспільно-політичних науках, особливо в контексті політичної діяльності та соціальних мереж [1–7]. Водночас сучасний рівень аналізу соціально-політичних систем вимагає кількісних оцінок та математичних моделей, які би могли пояснити специфіку явищ, що спостерігаються в реальному житті. Фундаментальна проблема пов'язана з тим, що коли ми маємо справу із соціальними й політичними процесами, то в підґрунті немає таких чітких законів, як це, наприклад, буває під час створення фізичних моделей. Існують лише загальні закономірності, які далеко не завжди вдається описати в межах математичної парадигми. Фактично, математичні моделі доводиться створювати, базуючись на найзагальніших уявленнях про природу та характер функціональних зв'язків між аґентами, які формують соціально-політичне середовище. Це складна задача, але, на щастя, відповідні підходи досить непогано розроблені у фізиці (передусім йдеться про синергетику [8–10]).

На сьогодні є багато робіт, виконаних у контексті фізичних принципів і присвячених розв'язанню задач нефізичного характеру. Серед основних напрямків таких досліджень можна виділити аналіз економічних систем [11–23], моделювання суспільно-політичних процесів [24–30], розв'язання задач математичної лінгвістики (як приклад, можна навести роботи [31–34]), створення теорії процесів, що реалізуються на складних мережах (див. роботи [34–39] та посилання, що містяться там). Інакше кажучи, застосування фізичних методів вийшло далеко за межі самої фізики, і це вже є радше нормою, ніж винятком із правил.

Однак разом зі значними успіхами наявні й певні проблеми. Якщо говорити про дослідження соціально-політичних систем "фізичними" (або близькими до них) методами, то застосування кількісних оцінок украй утруднене або просто неможливе. У ліпшому разі вдається отримати деякі статистичні дані — не надто повні й не завжди достовірні. На основі таких даних можна побудувати реґресійну залежність для пояснення тих або інших кореляційних властивостей. Але реґресійні залежності далеко не завжди є кінцевою метою дослідження, оскільки на їх основі принципово неможливо встановити причинно-наслідковий зв'язок між факторами системи. З іншого боку, математичне моделювання може слугувати отриманню якісного результату [10]. У цьому випадку в модель закладаються певні процеси та фактори, а результати моделювання дають уявлення про те, наскільки ці процеси й фактори важливі і які ефекти взагалі властиві для системи. Тому, навіть якщо модель є суттєво спрощеною, на її основі можна отримати важливі й цікаві результати. Відповідна методика характерна для синергетики [8] і добре себе зарекомендувала під час розв'язання задач у фізиці, хімії, біології, економіці, соціології та політології (див., наприклад, роботи [9, 40]). Саме такий підхід ми використаємо далі для моделювання поширення інформації в замкненій однорідній соціально-політичній спільноті, члени якої мають схильність до опортуністичної поведінки. При цьому вважатимемо, що єдиний спосіб передачі інформації пов'язаний з особистим спілкуванням аґентів, що формують цю спільноту. Також ми накладаємо певне обмеження на характер поширюваної інформації: ми виходимо з того, що кожен аґент може сформувати своє ставлення до цієї інформації категоріями на кшталт "вірю" або "не вірю". Такий спосіб передачі інформації характерний для поширення *чуток*.

ВИХІДНІ ПОЛОЖЕННЯ МОДЕЛІ

Далі ми розглянемо досить просту модель, яка описує поширення певної новини між членами соціально-політичної групи. При цьому нас буде насамперед цікавити питання про те, наскільки в системі можлива масова або принаймні стабільна підтримка членами спільноти поширюваної новини. Для того, аби відповісти на це питання, необхідно, як мінімум, конкретизувати механізми передачі інформації між членами спільноти.

Зазначимо, що сьогодні є різні спроби створити модель, яка би пояснювала поширення інформації в соціальному середовищі [41–49]. У таких моделях здебільшого використовують статистичні методи та моделювання з використанням концепції випадкових процесів. Є інший підхід, який би умовно можна було назвати "епідеміологічним". Річ у тому, що поширення інформації в спільноті за певних умов можна вважати ізоморфним поширенню епідемії. Тому з точністю до інтерпретації параметрів моделі ми могли би використати одну з версій відповідних моделей, що описують поширення епідемій [48–58]. Є й інша аналогія, яка простежується на рівні диференціальних рівнянь, що описують систему (особливо з урахуванням процесів дифузії). Це аналогія із синаптичною передачею інформації, і, зокрема, з процесом взаємодії медіатора з рецепторами на постсинаптичній мембрані [59–62]. Однак такі аналогії є швидше формальними, особливо коли йдеться про системи з певними специфічними механізмами передачі інформації (як це маємо в суспільстві з елементами опортуністичної поведінки). Далі пропонуємо модель, яка є загальнішою стосовно до вже наявних. Вона демонструє можливість існування стаціонарного розв'язку, який нетривіально змінюється з безперервною зміною феноменологічних параметрів моделі.

Отже, ми розглядаємо однорідну соціальну групу. В ній поширюється інформація або новина, яка допускає реакцію з боку членів групи в термінах "вірю" або "не вірю". Ми припускаємо, що кожен із членів групи може перебувати в одному з чотирьох станів:

- Суб'єкт може бути нейтральним до новини. У цьому разі він не є джерелом поширення чуток, але потенційно готовий включитися в процес. Інакше кажучи, у цьому стані перебувають члени групи, які ще нічого не чули про новину або які не сформували свого ставлення до новини. Такий стан будемо називати *нейтральним.*

- Член групи може бути джерелом поширення чуток. Це ті, хто повірив у новину як у достовірну інформацію і готовий її поширювати серед інших членів групи. Такий стан члена групи назвемо *активним.*

- Член групи може перебувати в *опортуністичному* стані. Це стан, у якому член групи негативно сприйняв новину (тобто не повірив) і є активним розповсюджувачем думки, що новина не відповідає дійсності. У такому стані член групи є джерелом поширення "протилежної" новини. Цей стан близький до активного стану, однак механізми переходу в ці стани і природа цих станів різна, тому ми їх розглядаємо саме як різні стани, а не як один. Також зазначимо, що хоча описану поведінки можна було би назвати "конфронтаційною", ми будемо використовувати термін "опортуністична" відповідно до того, як це робиться в інституціональній економіці для позначення поведінки, не зумовленої раціональними мотивами.

- Суб'єкт може перебувати в стані тимчасової несприйнятливості до новин. Такий стан може бути викликаний, наприклад, розчаруванням від участі в поширенні чуток. Ми припускаємо, що цей стан тимчасовий і характеризується неготовністю члена групи сприймати інформацію. Такий стан назвемо *релаксацією.*

Кількість членів соціальної групи в кожному з описаних вище чотирьох станів змінюється із часом, а загальну кількість членів групи вважаємо сталою. Також, як зазначалося вище, ми використовуємо припущення про рівномірний просторовий розподіл членів групи в різних станах. Щодо законів переходу членів групи з одного стану в інший, то вони в межах моделі такі:

- З нейтрального стану можливий перехід в активний стан. Імовірність переходу пропорційна кількості членів групи в нейтральному стані і кількості членів групи в активному стані. Тут ми враховуємо ефект агітації, який, очевидно, залежить як від кількості агітаторів, так і чисельності їхньої аудиторії.

- Під час агітації частина членів спільноти з нейтрального стану переходить не в активний, а в опортуністичний стан. Тут є важливий момент: специфіка опортуністичної поведінки пов'язана з тим, що схильний до неї аґент принципово не сприймає новини, незалежно від її суті. Інакше кажучи, є певний відсоток членів спільноти, які завжди "не вірять", і перехід у цей стан пов'язаний лише з поширенням вихідної новини.

- З активного стану можливий перехід у релаксаційний стан. Є два способи переходу з активного стану в стан релаксації. По-перше, це механізм "природного" переходу, імовірність якого пропорційна до кількості членів в активному стані. По-друге, відбувається "взаємодія" між членами в активному та опортуністичному станах, яка зводиться до “вибивання” аґента з активного стану в стан релаксації. Ймовірність такого переходу пропорційна до кількості членів групи в активному та опортуністичному станах (тобто їх добутку).

- Імовірність переходу з опортуністичного стану в стан релаксації пропорційна до кількості членів в опортуністичному стані.
- Зі стану релаксації можливий перехід у нейтральний стан. Імовірність переходу пропорційна до кількості членів групи в стані релаксації.

У кожному з описаних випадків характеристикою інтенсивності зміни кількості членів групи є похідна за часом від відповідного показника (кількість членів групи у вказаному стані). Для реалізації такої моделі у вигляді системи диференціальних рівнянь уведімо ряд позначень. А саме, позначмо через N кількість членів групи в нейтральному стані, через A — кількість членів групи в активному стані, кількість членів групи в опортуністичному стані позначмо як P, а кількість членів групи в стані релаксації — через R. Кожен із цих параметрів, як зазначено вище, є функцією часу t. Відповідно до зроблених вище припущень про механізми взаємодії членів групи в різних станах запишемо систему диференціальних рівнянь:

$$\frac{dN}{dt} = k_1 R - (k_2 + k_3) NA, \tag{1}$$
$$\frac{dA}{dt} = k_2 NA - k_4 AP - k_5 A, \tag{2}$$
$$\frac{dP}{dt} = k_3 NA - k_6 P, \tag{3}$$
$$\frac{dR}{dt} = k_5 A + k_6 P + k_4 AP - k_1 R. \tag{4}$$

У рівняннях (1)–(4) через k_n (де $n = 1, 2, \ldots, 6$) позначені феноменологічні параметри моделі. Як уже сказано, загальна кількість членів спільноти залишається сталою, тому має виконуватися ще й співвідношення

$$N(t) + A(t) + P(t) + R(t) = M, \tag{5}$$

де M — загальна кількість членів спільноти. Легко переконатися, що рівняння (5) є сумісним із системою (1)–(4). Додавши до системи (1)–(4) початкові умови (які узгоджуються з рівнянням (5)) і розв’язавши її, можемо отримати залежність зміни з часом параметрів N, A, P та R.

Модель містить досить велику кількість феноменологічних параметрів, що утруднює якісний аналіз системи. Ми зробимо певні спрощення, які розширять можливості отримання аналітичних результатів і при цьому не спотворять загальних властивостей моделі. Зокрема, ми будемо виходити з того, що “релаксаційні” процеси (процеси “природного” виходу з активного, опортуністичного станів та стану релаксації) відбуваються приблизно з однаковою інтенсивністю, і тому $k_1 \approx k_5 \approx k_6 \approx k$. Якщо покласти $\tau = kt$ та зробити заміни $N(t) = Mn(\tau)$, $A(t) = Ma(\tau)$, $P(t) = Mp(\tau)$ і $R(t) = Mr(\tau)$, отримаємо таку систему диференціальних рівнянь

$$\frac{dn}{d\tau} = r - (\alpha + \beta) na, \tag{6}$$
$$\frac{da}{d\tau} = \alpha na - \gamma ap - a, \tag{7}$$
$$\frac{dp}{d\tau} = \beta na - p, \tag{8}$$
$$\frac{dr}{d\tau} = a + p + \gamma ap - r \tag{9}$$

і додаткову умову до них у вигляді

$$n(\tau) + a(\tau) + p(\tau) + r(\tau) = 1. \tag{10}$$

Вище використано параметри $\alpha = \frac{k_2 M}{k}$ (коефіцієнт, що характеризує інтенсивність переходу з нейтрального в активний стан), $\beta = \frac{k_3 M}{k}$ (коефіцієнт, що характеризує інтенсивність переходу з нейтрального в опортуністичний стан) та $\gamma = \frac{k_4 M}{k}$ (коефіцієнт, що характеризує інтенсивність “взаємодії” членів спільноти в активному та опортуністичному станах). Тепер перейдімо до аналізу цієї моделі.

АНАЛІЗ МОДЕЛІ

Зрозуміло, що система (6)–(9) може бути розв’язана в числовому вигляді. Однак важливо зрозуміти, які взагалі можливі сценарії динаміки системи. Першочерговий інтерес для нас становить залежність від часу кількості членів групи в активному стані $a(\tau)$, оскільки саме цей параметр є найбільш наочною характеристикою того, наскільки сильно соціальна група реагує на поширення чуток.

За значень параметра $\alpha < 1$ реалізується стійкий розв’язок $a_s = p_s = r_s = 0$ та $n_s = 1$ (тобто всі члени спільноти перебувають у нейтральному стані). У такому випадку поведінка системи мало відрізняється від динаміки моделей SIRS-класу [51, 53, 57]. На рис. 1 показано характерну динаміку кількості членів групи в різних станах.

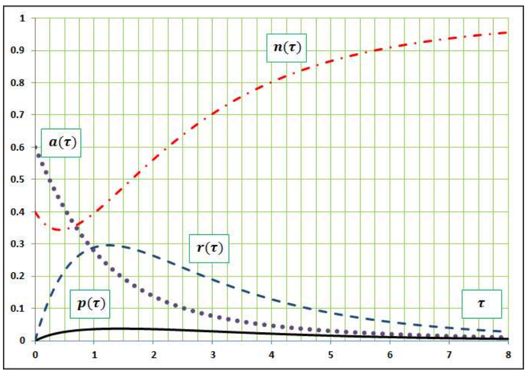

Рис. 1. Динаміка кількості членів групи в різних станах за значень $\alpha = 0.7 < 1$, $\beta = 0.6$ та $\gamma = 0.9$: штрих—пунктирна крива — залежність $n(\tau)$, пунктирна крива — залежність $a(\tau)$, суцільна крива — залежність $p(\tau)$, штрихована крива — залежність $r(\tau)$. Початкові значення $n(0) = 0.4$, $a(0) = 0.6$ та $p(0) = r(0) = 0$.

Із часом залежність $n(\tau)$ виходить на стаціонарне одиничне значення, а залежності $a(\tau)$, $p(\tau)$ та $r(\tau)$ — на стаціонарне нульове значення. За $\alpha > 1$ цей розв'язок стає нестійким. Проте з'являється ненульовий стаціонарний розв'язок, який для кількості членів спільноти в активному стані визначаємо як розв'язок (щодо a_s) рівняння

$$\beta\gamma a_s^2 - a_s(2\alpha + 2\beta + \beta\gamma) + \alpha - 1 = 0. \qquad (11)$$

З урахуванням вимоги, що має бути $0 \le a_s \le 1$, стаціонарне значення записуємо таким співвідношенням:

$$a_s = \frac{1}{2} + \frac{\alpha+\beta}{\beta\gamma} - \sqrt{\left(\frac{1}{2} + \frac{\alpha+\beta}{\beta\gamma}\right)^2 + \frac{1-\alpha}{\beta\gamma}}. \qquad (12)$$

Інші параметри для стаціонарного розв'язку визначаємо через a_s так:

$$n_s = \frac{1}{\alpha - \beta\gamma a_s}, \qquad (13)$$

$$p_s = \beta\frac{a_s}{\alpha - \beta\gamma a_s}, \qquad (14)$$

$$r_s = (\alpha+\beta)\frac{a_s}{\alpha - \beta\gamma a_s}. \qquad (15)$$

Як виглядає динаміка системи за $\alpha > 1$, показано на рис. 2.

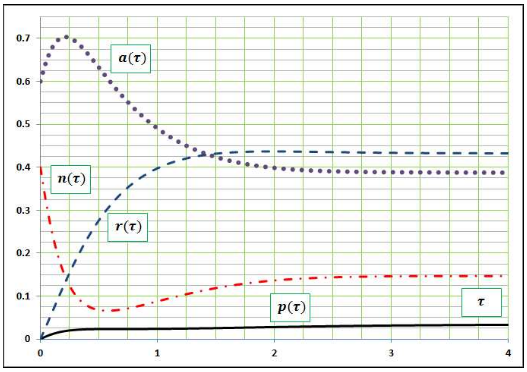

Рис. 2. Динаміка кількості членів групи в різних станах за значень $\alpha = 7 > 1$, $\beta = 0.6$ та $\gamma = 0.9$: штрих —пунктирна крива — залежність $n(\tau)$, пунктирна крива — залежність $a(\tau)$, суцільна крива — залежність $p(\tau)$, штрихована крива — залежність $r(\tau)$. Початкові значення $n(0) = 0.4$, $a(0) = 0.6$ та $p(0) = r(0) = 0$.

Принципова відмінність цього випадку від попереднього полягає в тому, що кожен із параметрів $n(\tau)$, $a(\tau)$, $p(\tau)$ та $r(\tau)$ прямує до свого стаціонарного значення і ці значення визначаються рівняннями (12)–(15). Найцікавіший той факт, що стаціонарне значення a_s, яке визначається рівнянням (12), відмінне від нуля. Це значення залежить від параметрів моделі α, β та γ. Ми для зручності покладемо $\beta = \beta_0\alpha$ і $\gamma = \gamma_0\alpha$ і розглянемо режим, за якого ці параметри змінюються синхронно. А саме, будемо вважати, що $\beta_0 = \text{const}$ та $\gamma_0 = \text{const}$, а параметр α при цьому може змінюватися. Такий сценарій відповідає ситуації, коли відносні інтенсивності процесів, пов'язаних із переходом в активний і опортуністичний стани, а також інтенсивність "взаємодії" членів групи в цих станах залишаються сталими. При цьому збільшення/зменшення параметра α відповідає зменшенню/збільшенню характерного часу переходу в активний стан на фоні характерного часу релаксаційних процесів.

Насамперед зазначимо, що якщо покласти $\beta_0 = \gamma_0 = 0$, то ми фактично отримаємо SIRS-модель [51, 53, 57]. Якщо так, то для стаціонарного розв'язку маємо

$$a_s(\alpha) = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right). \qquad (16)$$

У цьому випадку стаціонарний розв'язок є монотонною функцією параметра α. Зі зростанням параметра α в межах від 1 до нескінченності значення a_s зростає від 0 до $\frac{1}{2}$.

Якщо ж покласти лише $\gamma_0 = 0$ (і вважати $\beta_0 \neq 0$), "виключивши" з досліджуваної моделі "взаємодію" між членами групи в активному й опортуністичному станах, отримаємо для стаціонарного розв'язку вираз

$$a_s(\alpha) = \frac{1}{2(1+\beta_0)}\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right). \qquad (17)$$

Порівняно з виразом (16) є певна поправка, однак, як і в попередньому випадку, зі збільшенням значення параметра α стаціонарний розв'язок a_s монотонно зростає до нового граничного значення $\frac{1}{2(1+\beta_0)}$.

За умови, що параметр $\gamma_0 \neq 0$, ситуація змінюється принципово. У такому випадку вираз для стаціонарного розв'язку a_s визначатиметься таким співвідношенням:

$$a_s(\alpha) = \frac{1}{2} + \frac{1+\beta_0}{\beta_0\gamma_0\alpha} - \sqrt{\left(\frac{1}{2} + \frac{1+\beta_0}{\beta_0\gamma_0\alpha}\right)^2 + \frac{1-\alpha}{\beta_0\gamma_0\alpha^2}}. \qquad (18)$$

Неважко помітити, що $a_s(\alpha = 1) = a_s(\alpha \to \infty) = 0$. На рис. 3 показано залежність параметра a_s від параметра ξ, який пов'язаний з параметром α співвідношенням $\alpha = \exp(\xi)$ (ми використали параметр ξ замість параметра α для більшої наочності в подачі графічного матеріалу).

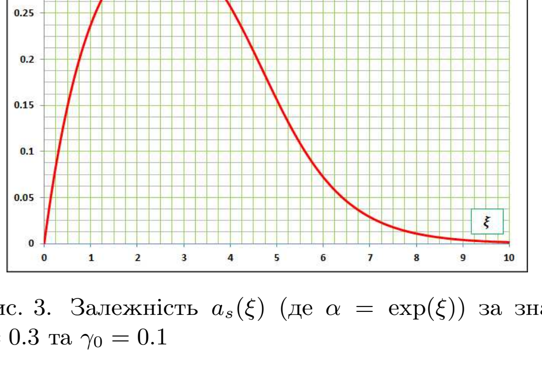

Рис. 3. Залежність $a_s(\xi)$ (де $\alpha = \exp(\xi)$) за значень $\beta_0 = 0.3$ та $\gamma_0 = 0.1$

Зміна параметрів β_0 та γ_0 впливає на позицію та величину екстремуму, однак якісно ситуація залишається незмінною: зі збільшенням значення параметра α (параметра ξ) значення a_s спочатку зростає (починаючи з нульового значення), а потім зменшується до нуля.

ВИСНОВКИ І РЕЗУЛЬТАТИ

Отже, зі збільшенням інтенсивності переходу членів групи з нейтрального в активний стан для кількості членів групи в активному стані з'являється відмінний від нуля стаціонарний розв'язок. За відсутності опортуністичної поведінки у членів спільноти значення цього розв'язку (кількість членів групи в активному стані) є монотонною функцією (обмеженою зверху) від коефіцієнту, що визначає інтенсивність переходу з нейтрального в активний стан. Якщо ж члени спільноти схильні до опортуністичної поведінки, то залежність кількості членів спільноти в активному стані від параметра, що визначає інтенсивність переходу в активний стан, стає суттєво нелінійною. Зокрема, зі збільшенням інтенсивності відповідного переходу (за умови, що відносні швидкості інших процесів залишаються фіксованими) кількість членів групи в активному стані спочатку зростає, а потім, після досягнення певного максимального значення, починає зменшуватись (аж до нуля). Отже, можлива опортуністична поведінка членів спільноти є важливим чинником, що на якісному рівні впливає на динаміку системи.

Наявність означеного ефекту (в межах досліджуваної моделі) пов'язана з тим, що доданок, який визначає "взаємодію" членів спільноти в активному й опортуністичному станах, пропорційний до добутку кількості членів спільноти у відповідних станах. Своєю чергою, доданок, що визначає перехід членів спільноти в опортуністичний стан, (з огляду на припущення, зроблені в моделі) пропорційний до добутку кількості членів у нейтральному та активному станах. Отже, ефект виходу члена спільноти з активного стану внаслідок "взаємодії" із членом спільноти в опортуністичному стані, по суті, нелінійно залежить від кількості членів спільноти в активному стані. Така залежність створює "негативний" обернений зв'язок. Інтенсивність виходу аґентів з активного стану, пов'язана з даним оберненим зв'язком, ефективно залежить від коефіцієнтів (у вигляді добутку), що характеризують інтенсивність переходу в опортуністичний стан та "взаємодію" аґентів в активному та опортуністичному станах. Тому коли ці параметри синхронно зростають (разом з параметром, який відповідає за інтенсивність переходу в активний стан), то зростає відносний внесок доданка, що описує вихід з активного стану. В результаті стаціонарне значення для кількості аґентів в активному стані зменшується.

Із практичного погляду, цей результат може бути корисним у тому плані, що він певною мірою пояснює ефект "пересичення" суспільства від занадто нав'язливої інформації, коли надмірний інформаційний потік викликає відразу і призводить до протилежного ефекту. Важливим при цьому є навіть не сам факт наявності індивідів з опортуністичною поведінкою (такі є майже завжди), а здатність аґентів з не опортуністичною поведінкою сприймати позицію опонента. Саме цьому процесу відповідає доданок у моделі, який описує "взаємодію" аґентів в активному й опортуністичному станах.

Ще одне зауваження стосується використаного в статті припущення про однорідність моделі. Зрозуміло, що реальні системи здебільшого є неоднорідними. Для врахування неоднорідності системи на рівні моделі потрібно розглядати залежність параметрів моделі не тільки від часу, але й від просторових координат. Також у цьому випадку критично важливим є механізм нелокальної взаємодії різних аґентів та можливість чи неможливість міґрації аґентів у межах системи. Як свідчать результати моделювання простіших (з погляду структури), але неоднорідних епідеміологічних систем, там можливі досить цікаві ефекти, зокрема й хвильові процеси (див., наприклад, [51, 53]). Створення й вивчення таких моделей є цікавим та перспективним і може бути предметом подальших досліджень.

Подяка. Автор висловлює щиру подяку рецензентам та членам редколеґії за зауваження, слушні поради та корисні коментарі, які значно допомогли під час роботи над статтею.

[1] S. L. Parker, G. R. Parker, J. A. McCann, Am. J. Political Sci. **52**, 412 (2008).
[2] A. D. Shocker, M. Ben-Akiva, B. Boccara, P. Nedungadi, Mark. Lett. **2**, 181 (1991).
[3] P. M. Sniderman, R. A. Brody, P. E. Tetlock. *Reasoning and Choice* (Cambridge University Press, Cambridge, 1991).
[4] R. Huckfeldt, P. A. Beck, R. J. Dalton, J. Levine, Am. J. Political Sci. **39**, 1025 (1995).
[5] S. Richey, Br. J. Political Sci. **38**, 527 (2008).
[6] S. Abrams, T. Iversen, D. Soskice, Br. J. Political Sci. **41**, 229 (2011).
[7] B. Sinclair, *The Social Citizen. Peer Networks and Political Behavior* (University of Chicago Press, Chicago, 2012).
[8] Г. Хакен, *Синергетика* (Мир, Москва, 1980).
[9] Г. Хакен, *Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам* (Мир, Москва, 1991).
[10] В. И. Арнольд, *"Жесткие" и "мягкие" математические модели* (МЦНМО, Москва, 2008).
[11] D. Walker, Econ. J. **101**, 615 (1991).
[12] R. Mantegna, H. Stanley, *An Introduction to Econophysics* (Cambridge University Press, Cambridge, 2000).

[13] B. Roehner, *Patterns of Speculation: A Study in Observational Econophysics* (Cambridge University Press, Cambridge, 2002).
[14] J. McCauley, *Dynamics of Markets: Econophysics and Finance* (Cambridge University Press, Cambridge, 2004).
[15] E.H. Stanley, V. Plerou, X. Gabaix, Physica A **387**, 3967 (2008).
[16] C. Schinckus, Physica A **389**, 3814 (2010).
[17] F. Jovanovic, C. Schinckus, J. Hist. Econ. Thought **35**, 319 (2012).
[18] Y. Gingras, C. Schinckus, J. Hist. Econ. Thought **34**, 109 (2012).
[19] F. Jovanovic, C. Schinckus, Hist. Political Econ. **45**, 443 (2013).
[20] C. Schinckus, F. Jovanovic, J. Econ. Methodol. **20**, 164 (2013).
[21] D. Sornette, Rep. Prog. Phys. **77**, 1 (2014).
[22] S. Drakopoulos, I. Katselidis, J. Econ. Methodol. **22**, 77 (2015).
[23] A. Chakraborti, I. M. Toke, M. Patriarca, F. Abergel, Quant. Finance **11**, 991 (2011); Quant. Finance **11**, 1013 (2011); preprint arXiv:0909.1974 [q-fin.GN] (2009).
[24] W. Weidlich, Br. J. Math. Stat. Psychol. **24**, 251 (1971).
[25] E. Callen, D. Shapiro, Phys. Today **12**, 23 (1974).
[26] S. Galam, Y. Gefen, Y. Shapir, J. Math. Sociol. **9**, 1 (1982).
[27] S. Galam, *Sociophysics: A Physicist's Modeling of Psycho-polytical Phenomena.* (Springer, New York, 2012).
[28] D. Stauffer, preprint arXiv:1207.6178v1 [physics.soc-ph] (2007).
[29] C. Castellano, S. Fortunato, V. Loreto, Rev. Mod. Physics **81**, 591 (2009).
[30] S. Galam, preprint arXiv:0803.1800 [physics.soc-ph] (2003).
[31] A. A. Rovenchak, S. Buk, Physica A **390**, 1326 (2011).
[32] A. A. Rovenchak, S. Buk, J. Phys. Stud. **15**, 1005 (2011).
[33] A. N. Vasilev, A. V. Chalyi, I. V. Vasileva, J. Phys. Stud. **17**, 1001 (2013).
[34] Yu. Holovatch, V. Palchykov, J. Phys. Stud. **11**, 22 (2007).
[35] Yu. Holovatch *et al.*, J. Phys. Stud. **22**, 2801 (2018).
[36] Yu. Holovatch, R. Kenna, S. Thurner, Eur. J. Phys. **38**, 023002 (2017).
[37] Ю. Головач, М. Дудка, В. Блавацька, В. Пальчиков, М. Красницька, О. Мриглод, препринт ICMP–17–06U (Львів, 2017).
[38] Y. Holovatch, V. Palchykov, in *Maths Meets Myths: Complexity-science Approaches to Folktales, Myths, Sagas, and Histories*, edited by R. Kenna, M. Mac Carron, P. Mac Carron (Springer International Publishing, Cham, 2017), p. 159.
[39] B. Berche, C. von Ferber, T. Holovatch, Yu. Holovatch, Adv. Complex Syst. **15**, 1250063 (2012).
[40] С. П. Капица, С. П. Курдюмов, Г. Г. Малинейкий. *Синергетика и прогнозы будущего* (Едиториал УРСС, Москва, 2003).
[41] J. F. Rabajante, R. E. Umali, J. Nat. Stud. **10**, 61 (2011).
[42] S. Galam, Global Econ. Manag. Rev. **18**, 2 (2013).
[43] C. Kaligotla, E. Yücesan, S. E. Chick, in *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference* (Huntington Beach, USA, 2015), p. 3985.
[44] U. Merlone, D. Radi, A. Romano, in *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference* (Huntington Beach, USA, 2015), p. 3997.
[45] C. Wang, Z. X. Tan, Y. Ye, L. Wang, K.H. Cheong, N. Xie, Sci. Rep. **7**, 9615 (2017).
[46] S. Galam, Physica A **320**, 571 (2003).
[47] M. Tasgin, H. O. Bingol, preprint arXiv:1201.0375v2 [cs.SI] (2001).
[48] M. Nekovee, Y. Moreno, G. Bianconi, M. Marsili, Physica A **374**, 457 (2007).
[49] L. Zhao, J. Wang, Y. Chen, Q. Wang, J. Cheng, H. Cui, Physica A **391**, 2444 (2012).
[50] M. Kermack, A. Mckendrick, Proc. Roy. Soc. London A **115**, 4, 700 (1927).
[51] K. Zhou, Q.-R. Wang, Abstr. Appl. Anal. **2014**, 369072 (2014).
[52] J. Mena-Lorca, H. W. Hethcote, J. Math. Biol. **30**, 7, 693 (1992).
[53] M. Ma, S. Liu, J. Li. Adv. Differ. Equ. **2016**, 252 (2016).
[54] J. Woo, H. Chen., SpringerPlus **5**, 66 (2016).
[55] F. Brauer, P. van den Driessche, Math. Biosci. **171**, 143 (2001).
[56] X. Zhao, J. Wang, Discr. Dyn. Nat. Soc. **2013**, 586867 (2013).
[57] W. Liu, S.A. Levin, Y. Iwasa, J. Math. Biology **23**, 187 (1986).
[58] D. J. D. Earn, P. Rohani, B. M. Bolker, B. T. Crenfel, Science **287**, 667 (2000).
[59] A. V. Chalyi, L. M. Chernenko, in *Dynamic Phenomena at Interfaces, Surfaces and Membranes*, edited by N. Boccara, D. Beysens, G. Forgacs (Nova Sci. Publishers, New York, 1993).
[60] A. V. Chalyi, A. N. Vasilev, Phys. Alive **10**, 32 (2000).
[61] A. V. Chalyi, E. V. Zaitseva, J. Phys. Stud. **11**, 322 (2007).
[62] A. V. Chalyi, A. N. Vasilev, E. V. Zaitseva, Condens. Matter. Phys. **20**, 13804 (2017).

A MODEL OF RUMORS SPREADING IN THE COMMUNITY WITH OPPORTUNISTIC BEHAVIOR

Alexei Vasilev
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Department of Theoretical Physics
60, Volodymyrska St., Kyiv, UA–01601, Ukraine
e-mail: alex@vasilev.kiev.ua

In this paper we consider a model that describes rumors spreading process in the social community, whose members tend to opportunistic behavior. The model is based on the assumption that information is spread by agents (the members of the community). There are four possible states for every agent. Namely, an agent can be in the neutral state, which means that the agent doesn't spread information (but potentially can do it). Being in the active state means that the agent is the source of information spreading. In the opportunistic state the agent acts to decrease the influence of those agents which are in the active state. In the relaxation state the agent can't spread information. The agents can make transitions from one state to another. Possible transitions are from the neutral state to the active state or to the opportunistic state, from the active and opportunistic states to the relaxation state, and from the relaxation state to the neutral state. To describe how the transitions are realized, we use a system of nonlinear differential equations. The equations determine how the number of agents in different states changes depending on the current distribution of the agents by states. In particular, transition from the neutral state to the active state is realized due to passing the information from the agents in the active state to the agents in the neutral state. An additional effect of this interaction is the transition of the agents from the neutral state to the opportunistic state. Interaction of the agents in the active and opportunistic states forces the active state agents to transit to the relaxation state. It is shown that a stationary solution exists in the system, and the stationary number of agents in the active state depends nonlinearly on the parameter which characterizes the intensity of the transition from the neutral state to the active state.