

## ДЕЯКІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ

© Федонюк А.А., 2014

**Роботу присвячено літературному огляду наукових джерел, в яких моделюються аспекти функціонування соціальних мереж, подано їх характеристику та зроблено спроби прогнозування подальшої поведінки соціальної мережі залежно від тих чи інших внутрішніх або зовнішніх чинників**

**Ключові слова:** соціальна мережа, модель, фізична аналогія.

**The work is dedicated to the literature review of scientific sources, which are modeled aspects of social networks, their characteristics are given and attempts are made to predict future behavior of social network based on certain internal or external factors.**

**Key words:** social network model, the physical analogy.

### Вступ

Сучасний інформаційно насичений світ потребує глибокого аналізу феномену соціальних мереж як невід'ємного атрибуту сьогодення. Саме тому останніми роками спостерігається сплеск наукових досліджень і, як наслідок, публікацій із всебічним аналізом соціальних мереж.

На сучасному етапі суспільство прагне вивчити та проаналізувати процеси соціокомунікативних стосунків та, головне, встановити закономірності поширення потоків інформації в соціумі, здійснити загальний опис формування сучасної теорії складних соціальних мереж. Це необхідно для побудови та використання таких мереж з прогнозованою поведінкою в інтересах суспільства. Саме тому виникає необхідність дослідити та проаналізувати опубліковані наукові напрацювання щодо дослідження поведінки соціальних мереж різної природи і спрямування та створення моделей таких мереж. Найпоширенішим підходом моделювання процесів формування та функціонування соціальних мереж виявилось застосування вже відомих математичних формалізмів та відповідного програмно-алгоритмічного інструментарію.

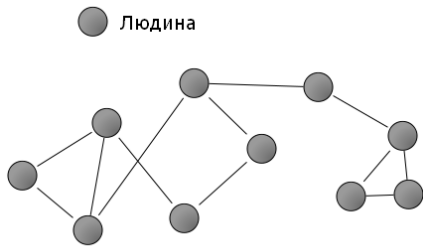
Ця робота є спробою проаналізувати та систематизувати результати різнопланових наукових досліджень, що стосуються формального опису соціальних мереж та створення їх математичних моделей. Стаття подана як аналітичний огляд широкого спектра сучасних наукових публікацій та слугуватиме методичним підґрунтям у проведенні подальших наукових розвідок автора.

### Основний матеріал

Соціальна мережа – це множина агентів (вершин), які можуть вступати у взаємодію один з одним і зв'язки між якими є соціальні, тобто професійні, побутові, політичні, релігійні тощо, або забезпечувати процедури їх соціокомунікаційної взаємодії. З формального погляду такі мережі зручно подавати у вигляді графів і застосовувати для їх аналізу відповідний математичний апарат [1].

Термін “соціальна мережа” у 1954 р. ввів англійський соціолог Джеймс Барнс у збірці робіт “Людські стосунки”. Цим терміном він висловив думку про те, що суспільство – це складне переплетення особистісних соціокомунікаційних стосунків. Барнс досліджував взаємозв'язки між людьми (членами соціуму) за допомогою візуальних діаграм, в яких окремі особи зображались крапками, а зв'язки між ними – лініями [2].

У 1959 р. принципами формування соціальних мереж зацікавились угорські математики Пол Ердос (Paul Erdos) і Альфред Реній (Alfred Renyi). Вони опублікували низку статей на основі власних наукових досліджень. Дункан Уоттс (Duncan J. Watts) і Стівен Строгац (Steven H. Strogatz) розвинули теорію соціальних мереж і першими запропонували ввести поняття коефіцієнта кластеризації як ступеня близькості між неоднорідними групами (коли людина розширює мережу своїх зв'язків за рахунок осіб, яких вона не знає особисто, але яких знають її знайомі) [4].



*Зображення абстрактної соціальної мережі Барнсом*

Теорія соціальних мереж розглядає соціальні взаємовідносини у термінах вузлів і зв'язків. Вузли є відособленими акторами у мережах, а зв'язки відповідають стосункам між акторами. Загалом існує багато типів зв'язків між вузлами. У найпростішій формі соціальна мережа є відображенням усіх зв'язків між вузлами, які охоплені дослідженням. Мережі можуть використовуватися, зокрема, для встановлення соціального капіталу окремих акторів. Ці концепції часто відображаються на діаграмі соціальної мережі, на якій вузлам відповідають точки, а зв'язкам – лінії [4].

Теорія соціальних мереж методологічно істотно відрізняється від традиційних підходів у соціологічних науках, згідно з якими вважається, що саме атрибути окремих акторів – дружність або недружність, рівень інтелекту тощо відіграють основну роль. У теорії соціальних мереж використовується постулат, відповідно до якого атрибути окремих акторів менш важливі, ніж стосунки та зв'язки з іншими акторами у мережі. Цей підхід видається корисним для пояснення багатьох реальних явищ загалом, але залишає менше простору для індивідуальних дій, можливостей індивідів впливати на свій власний успіх, оскільки багато залежить саме від структури відповідної соціальної мережі [4].

Існують чотири основні методологічні підходи щодо аналізу соціальних мереж:

1. **Структурний** – акцентує увагу на геометричній формі та інтенсивності взаємодій (вазі ребер). Усі актори розглядаються як вершини графу, які впливають на конфігурацію ребер та інших акторів мережі. Особлива увага приділяється взаємному розташуванню вершин, центральності, транзитивності взаємодій. Для інтерпретації результатів у цьому випадку використовуються структурні теорії та теорії мережевого обміну [5].

2. **Динамічний** – увага акцентована на змінах мережевої структури з часом. Вивчаються причини зникнення і появи ребер мережі; зміни структури мережі у разі зовнішніх дій; стаціонарні конфігурації соціальної мережі [5].

3. **Нормативний** – вивчає рівень довіри між акторами, а також норми, правила та санкції, які впливають на поведінку акторів у соціальній мережі та процеси їх взаємодій. У цьому випадку аналізуються соціальні ролі, які пов'язані з певним ребром мережі, наприклад, відносини керівника і підлеглого, дружні або родинні зв'язки. Комбінація індивідуальних і мережевих ресурсів актора з нормами і правилами, що діють у цій соціальній мережі, утворює його “соціальний капітал” [5].

4. **Ресурсний** – розглядає можливості акторів щодо залучення індивідуальних і мережевих ресурсів для досягнення певної мети і диференціює акторів, які перебувають в ідентичних структурних позиціях соціальної мережі, за їх ресурсами. Індивідуальними ресурсами можуть бути знання, престиж, багатство, етнічна приналежність, стать (гендерна ідентичність). Під мережевими ресурсами розуміють вплив, статус, інформацію, капітал [5].

Сьогодні існує широкий спектр систем аналізу соціальних даних у мережах, що здебільшого використовують соціологи для проведення досліджень: UCINET, NetDraw, Pajek, Netminer, Visone, SNA/R, StOCNET, Negory, InFlow, GUESS, NetworkX, prefuse, JUNG, BGL/Python та інші [6, 7]. Для обробки великих за розміром даних словенські розробники Vladimir Batagelj та Andrej Mrvar створили систему Pajek [8]. Опрацювання даних у великих соціальних мереж досягається їх кластеризацією на менші й застосовуванням адаптивних алгоритмів.

Спорідненими до теорії мережевого аналізу є теорія обміну та теорія раціонального вибору. П. Блау, Дж. Хоманс, Р. Емерсон, Дж. С. Коулмен [2] заклали основу розвитку концепту соціальних мереж, залишаючись, проте, за межами мережевого аналізу. Як зазначає Д. Рітцер: “Незважаючи на безліч збігів між теорією обміну та мережевою теорією, прихильники останньої не торкаються феномену обміну. Мережеві теорії відрізняє увага до об'єктивної моделі зв'язків на мікро- і макрорівнях соціальної реальності та між цими рівнями” [9]. Подібними є і розходження з теорією раціонального вибору. Остання, зокрема, аналізує економічну стратегію домогосподарств, трактуючи їх як соціального актора, що діє раціонально. Мережева ж теорія аналізує економічну

стратегію домогосподарства не крізь призму раціональної поведінки, а через структурні обмеження. Інакше кажучи, визначальним фактором економічної поведінки домогосподарства вважається система взаємозв'язків цього домогосподарства з іншими соціальними акторами (яка, втім, є змінною, динамічною). Конфігурація соціальної мережі, в яку входить домогосподарство, тип зв'язків, що переважає у цій мережі, їхня інтенсивність є вирішальними для вироблення економічної стратегії домогосподарства. Отже, наголос робиться власне на структурних обмеженнях.

Р. Барту відзначає неоднорідність та суперечливість підходів до мережевого аналізу [9]. Але перевагою останнього концепту є те, що тут відбувається чітке відмежування від так званих “традиційних” підходів, які значно спрощують соціальну реальність, адже обмежилися лише тим, що розглядають “особистісні характеристики” соціальних акторів, такі як стать, вік, рівень прибутку, багатство, освіта, та аналізують кореляцію між ними. Вони надто зосереджені на елементах мікрорівня (інтерналізованих нормах і цінностях) та нехтують відносинами, які складаються між акторами [10].

У мережевому підході соціальна поведінка вважається результатом залученості індивіда у структуровані соціальні відносини. Тут всі особисті характеристики соціальних акторів актуалізуються у процесі їхньої щоденної взаємодії у межах певних соціальних мереж. Так, соціальна депривація виникає не тільки через низький рівень прибутків та престижу. Вона з'являється у процесі взаємодії на рівні так званих особистих соціальних мереж. Фактично, особисті характеристики соціальних акторів є “видимим” чи простішим для наукового аналізу виявом їхніх структурних характеристик. Важливо, що в мережевому аналізі наполягають власне на такій послідовності – структурні характеристики системи через структурні обмеження продукують структурні характеристики соціального актора, які, своєю чергою, знаходять вираження в особистих характеристиках [11].

У межах формалістського підходу практикується використання методів та засобів математичного моделювання соціальних мереж і, зокрема, активно застосовується аналог теорії графів, що розробив Г. Вайт. Саме під керівництвом Г. Вайта у 60–70-ті роки ХХ ст. група вчених з Гарварду розробила математичні аспекти аналізу соціальних мереж, перевівши важливі концепти з соціальних наук у математичну форму [11].

Іншим підходом у межах соціологічної парадигми мережевого аналізу є егоцентричний метод, який іноді називають методом дослідження особистих соціальних мереж (personal network studies). Такі дослідження пропонують аналізувати відбиток соціального світу окремо взятого соціального актора. Цей підхід спрямований на виявлення кореляцій між структурними характеристиками соціальних акторів та їхніми особистими характеристиками. Представники егоцентричного підходу вивчають не один вид зв'язків між усіма членами мережі, а всі зв'язки, які має певний її член. У такому випадку респондент (центральна особа / focal person) перебуває в центрі системи, власне трактування якої й пропонує [12].

Структура більшості великих реальних мереж підпорядкована степеневому закону розподілу  $P(k) \sim k^{-\gamma}$ . Графи, які їх зображають, описуються моделлю переважного приєднання Барабаші–Альберт і є безмасштабними, оскільки завдяки далекосяжним взаємодіям система не має масштабу зміни характерних величин. Ця модель відтворює характер зростання в часі багатьох реальних мереж, зокрема і комп'ютерних [13].

Одним з характерних класів таких мереж вважаються передусім і соціальні мережі, які забезпечують підтримку та реалізацію функцій соціальних та соціокомунікаційних взаємовідносин між людьми. Вершинами графів, які моделюють ці мережі, можуть виступати окремі особи, групи людей, професійні колективи, персонал установ тощо. Дослідження соціальних мереж зумовлене прагненням вивчити та проаналізувати процеси соціокомунікаційних стосунків та встановити закономірності поширення потоків інформації в соціумі та здійснювати їх загальний опис у контексті формування сучасної теорії складних мереж. На практиці результати наукових досліджень соціальних мереж можуть допомогти сформувати загальне уявлення про поширення у соціумі потоків різнотипової інформації, зокрема такої, яка різнопланово характеризує процеси

суспільного буття різних соціальних груп [13]. Прикладами соціальних мереж можуть слугувати мережі співтовариств вчених, мережі телефонних контактів та електронних повідомлень, мережі знайомств, мережі підтримки контактів школярів, студентів та співробітників тощо [14]. Сукупність методів дослідження механізмів формування та функціонування соціальних відносин між людьми є предметом окремої науки – соціометрії, в межах якої вперше сформовано та проаналізовано процеси функціонування невеликих соціальних мереж [15].

Яскравим представником для прототипування соціальних мереж є мережа наукових спільнот [16]. Такі соціальні мережі наукових спільнот, у яких фіксується співавторство вчених під час підготовки та опублікування наукових статей, називають мережами співавторства. Йдеться про мережу фахової спільноти, модель якої подається у формі графу, вершинами якого є окремі науковці, а спільні публікації подаються у формі зв'язків між ними. Сьогодні це одна з найбільших профільних соціальних мереж [14], яка об'єднує понад мільйон учасників [13]. Мережі співавторства поділяються на зважені та незважені, залежно від того, чи зв'язок між авторами відображає наявність однієї, чи декількох спільних публікацій. В другому із зазначених випадків між парою вершин формується декілька паралельних зв'язків. Вивчав та досліджував мережі співавторства у своїх фундаментальних працях математик Пауль Ердош [14, 17].

Кількість вершин у мережі співпраці залежить від того, чи є зазначений напрям вузько-спеціалізованим, чи належить до досліджень широкого тематичного спектра, чи є він новим у досліджуваній області, чи належить до класичного напрямку. На значення цього параметра істотно впливає той факт, чи належить робота до теоретичної, чи до експериментальної ділянки [14]: в експериментальній сфері середній ступінь вершин мережі співавторства є значно вищим, аніж у теоретичній. Теоретичні роботи переважно характеризуються невеликою кількістю співавторів, на відміну від експериментальних досліджень, які є зазвичай колективними і, як наслідок, можуть мати багато співавторів.

В.М. Сазонов пропонує поділяти соціальні мережі на класичні та онлайніві [1]. До класичних він зараховує ті, які з погляду організації комунікацій і теорії соціального капіталу мають вузьку спрямованість взаємодії Особистість-Особистість, або вертикальні відношення Фірма-Особистість. Також можна виділити і історичні соціальні утворення, для яких важливими були “горизонтальні” інтелектуальні співтовариства – клуби студентської пісні, фізматшколи тощо.

Створення груп за інтересами, співтовариств і соціальних мереж активно відбувається в сучасному комунікаційному інтернет-середовищі. До зазначеного плану можна зарахувати мережі знайомств, мережі, орієнтовані на пошук “розумних голів”, мережі особистих і ділових контактів тощо.

У звіті дослідників із Томська [18] щодо моделювання соціальних мереж виділено три основних напрями формального аналізу, які характеризують параметри і показники цінності мережі:

- Створення моделей соціальних мереж.
- Пошук статистичних закономірностей та специфічних властивостей, що характеризують поведінку мережевих систем.
- Передбачення поведінки соціокомунікаційних систем з мережевою структурою.

Формалізуючи поняття мети або цінності мережі за Роберто Меткалфу [19], стверджують, що для комунікаційної мережі її цінність пропорційна до кількості зв'язків між учасниками мережі, а не кількості її учасників.

Комунікативні можливості соціальних мереж у теорії графів визначаються поняттям рангу мережі, що характеризує кількість вузлів, з'єднаних з аналізованим. Ще в 1979 році С.Фріман ввів поняття центра групи і три асоційовані з ним поняття: ранг вузла, контроль і його незалежність. І.В. Градосельська [20] виділяє чотири типи мережевих структур:

- мережа з високою комунікативністю і високим домінуванням;
- мережа з високою комунікативністю і низьким домінуванням;
- мережа з низькою комунікативністю і високим домінуванням;
- мережа з низькою комунікативністю і низьким домінуванням.

Висока домінантність і висока комунікативність характеризують “супутникову структуру”, тобто мережеві ресурси переміщуються від відповідного центра мережі до її периферії. В системі з

високою зв'язаністю і низькою домінантністю загальна кількість зв'язків розподілена рівномірно, а потоки спрямовані від одного фрагмента мережі до іншого.

Системи з низькою комунікативністю і високою домінантністю характеризують дифузні, слабо інтегровані популяції. Системи з низькою комунікативністю і високою домінантністю зосереджують зв'язки в певних суспільних околах і визначають процеси їх декомпозиції.

Прогнозування поведінки соціальної мережі є архіважливим атрибутом визначення стратегії поведінки для засновників мережі, людей, які співіснують з учасниками мережі тощо. Для прогнозування поведінки мережі І.Н. Трофімова пропонує використовувати так звану модель соціальної поведінки [21]. Будуючи моделі, автор вивчає питання впливу на поведінку в групі таких формальних ознак середовища, як величина популяції, можливість встановлення контактів (соціабельність) та ступінь відмінностей елементів. Дослідження моделі “Соціабельність” показали наявність якісних фазових переходів при формуванні “малих світів”, різний розподіл кластерів певного розміру за різних значень вказаних параметрів.

Особлива увага в комплексі досліджень соціальних мереж приділяється створенню математичних моделей, які були б прямим аналогом вже відомих та добре досліджених фізичних процесів, для яких створено потужний математичний апарат.

Так, в роботі [22] автор вказує на наявність спільних рис між фотографіями макрорівня населених пунктів, елементів інфраструктури та фізичними фракталами. Зазначено, що в соціально-економічних системах повинні бути центри зародження, дендритного росту і навіть упорядкованої структури в околі центру. Пояснюється це тим, що процеси росту та розвитку згаданих об'єктів мають багато спільних рис з процесом росту фізичного кристала, який починається на затравці (атракторі). Роль атракторів соціально-економічних систем можуть виконувати, зокрема, гірсько-лижні витяги, розважальні центри, пляжі, виробничі підприємства тощо. Деформація кристалів зазвичай зумовлена зовнішньою дією, переважно потенціального характеру. Роль потенціального поля в соціальних процесах, зокрема, може належати так званому “полю привабливості”, яке залежить від віддалі, інфраструктури, рельєфних, юридичних та інших аспектів. Еволюція фізичних фракталів зумовлена агрегуванням вільних атомів чи молекул на конденсованому кластері та спонтанному “випаровуванні” атомів, що мають слабкі міжмолекулярні зв'язки. Нові соціально-економічні елементи теж, як правило, виникають у безпосередній близькості від сусідів. Процеси зникнення згаданих елементів можна пов'язати з конкурентною боротьбою [22].

Аналогічно можна подавати і структуру соціальних мереж, які формуються навколо “найяскравіших”, на певний момент, центрів “зародження” мережі. Наприклад, формування мереж релігійного спрямування відбувається навколо конкретних священиків, проповідників тощо, формування профільних соціальних мереж за відповідними вподобаннями (волейбол, футбол або ж літературні та музичні гуртки тощо) – навколо відповідних ініціаторів та лідерів.

Можна провести паралель із моделюванням впливів потенціального поля, описаного в [22], та соціальними впливами певних зовнішніх чинників на формування соціальних мереж. Коректно було б використовувати для аналізу соціальних мереж формальний інструментарій “поля привабливості”, інтенсивність та потенціал якого залежать від віддалі, наявності елементів відповідної інфраструктури, юридичних та інших аспектів.

Певну аналогію можна провести між спонтанним “випаровуванням” атомів, що мають слабкі міжмолекулярні зв'язки, та процесами виходів із соціальної мережі конкретної особи або групи людей. Такий процес спостерігається в тому випадку, коли цінності соціального об'єднання не потрапили в “резонанс” з внутрішніми переконаннями суб'єкта, або ж (як у випадку зі спортивними секціями чи літературними гуртками), певні люди не витримали конкурентної боротьби тощо.

Цікавою з методологічного погляду атрибутивної аналогії між “власними” властивостями фізичних фракталів і соціально-економічних систем [22] є таблиця, яку подає професор Я.І. Виклюк.

Явище, процес	Фізичні фрактали	Соціально-економічна система
Атрактор	Затравка, неоднорідність, дефект	Історико-культурна спадщина, гірськолижні витяги, розважальні центри, пляжі, виробничі підприємства тощо
Дендритний ріст	Хаотичний (тепловий) рух вільних частинок з агрегацією на кластері, що росте	Нові соціально-економічні об'єкти або новобудови з'являються в безпосередній близькості від забудов чи наявної інфраструктури
Деформування в процесі росту	Зовнішні дії потенціального типу	Привабливість (атрактивність) території, наявна інфраструктура
Випаровування	Флуктуації енергії атомів на поверхні контакту	Вилучення з бізнесу об'єктів із низьким рівнем конкурентоспроможності
Зменшення кінетичної енергії частинок [23]	Опір середовища	Інвестиційне сприяння розвитку регіону
Дифузія	Переміщення атомів	Переміщення рекреантів
Теплопровідність	Здатність переносити теплову енергію	Інформаційні та фінансові потоки

На основі доволі розвинутого математичного апарату моделювання процесів росту фізичних фракталів автор досліджує так звані “власні” властивості об'єктів, тобто властивості, які завжди притаманні об'єкту (фізичні, хімічні та біологічні), не розглядаючи ситуативні зв'язки об'єктів з іншими об'єктами. Автор [22] обґрунтовує існування аналогів властивостей і схожість об'єктів між собою і висуває гіпотезу про існування між ними функціональної аналогії. Зокрема, для підтвердження цієї гіпотези моделюється ріст соціально-економічної системи методами фрактального росту кристалів [24,25] і досліджуються функціональні залежності отриманого фрактала. Як результат, встановлюється чітка атрибутивна та структурна аналогія між фізичними фракталами та моделями процесів росту та розвитку соціально-економічних систем. Привабливою перспективою в контексті дослідження процесів поведінки соціальних мереж є, зокрема, можливість застосування фізичних аналогій законів, які, в певному наближенні, в окремих випадках дуже точно, дозволяють будувати моделі формування, розвитку та функціонування соціальних мереж різних класів, використовуючи для цього математичний апарат, розроблений, зокрема, для опису певних фізичних процесів.

Цікавою є інтерпретація, в контексті висловленої гіпотези, такого явища, як фазовий перехід. У фізиці під фазами розуміють не лише частинки тіла, які є в різних агрегатних станах, але й частинки, які перебувають в одному агрегатному стані, проте володіють різною кристалічною структурою та властивостями [26]. Властивості самих фаз змінюються зі зміною умов, найчастіше такі зміни виявляються у разі наближення до межі області існування фази. Умовою рівноваги температурно рівноважних фаз є рівність їх температур та тисків. У випадку двох фаз:

$$T_1=T_2, p_1=p_2.$$

Оскільки на поверхні фаз, що контактують між собою, виникають сили, з якими фази діють одна на одну, то в разі відсутності зовнішніх сил справедлива така умова рівноваги:

$$\mu_1=\mu_2,$$

де  $\mu_1, \mu_2$  – відповідні хімічні потенціали.

Вони визначаються як термодинамічні потенціали  $G=U+pV-TS$ : в розрахунку на одну частинку  $\mu=G/N$ , де  $N$  – кількість частинок у системі.

Проводячи фізичну аналогію, можна в певному наближенні говорити і про соціальні мережі, для яких зовнішні сили (вплив решти соціуму) порівняно стабільні на поточний момент часу, але зміна стану індивідуума можлива і, як підтверджує досвід, зазвичай відбувається через перерозподіл внутрішніх ресурсів системи та завдяки флуктуаціям, що є цілком природним. Можна ці процеси моделювати з використанням математичного апарату, який застосовується для моделювання процесів фазових переходів [26].

В роботі [27] розглянуто застосування методологічних принципів теоретичної епіоніки – науки про взаємодію та впливи в нематеріальному світі речей [28,29] для дослідження соціально-

економічних систем. Автор досліджує питання внутрішньої структури атракторів, часової динаміки фрактальної розмірності, стійкості, насиченості, яка може моделюватися за допомогою апарату, розробленого в так званій теорії “випадкового дощу” [24]. Проектуючи результати цих досліджень на функціонування соціальних мереж, зауважимо, що теорія “випадкового дощу” може з успіхом застосовуватись в побудові моделей, що описують внутрішню структуру “зародків” формування відповідної соціальної мережі, поведінку в часі фрактальної розмірності та стійкості.

Інтерпретаційне перенесення властивостей фізичних явищ на проекцію побудови моделей соціальних систем та процесів у сучасній науковій літературі досліджено у значній кількості робіт. Підтвердженням цього є результати, подані в [30], де розглянуто принципи функціонування схожих соціальних систем, якими є вищі навчальні заклади як самоорганізовані системи на основі трипараметричної моделі Лоренца. Закони зростання ентропії для термодинамічно відкритих систем використовуються, зокрема, для характеристики соціально-економічних та екосистем у роботі [31].

Сучасні соціальні мережі є одним з найуніверсальніших інструментів спілкування і найпопулярнішим сервісом, який сьогодні привертає увагу більшої частини інтернет-аудиторії, а в сфері освіти вони сприяють розвитку електронного навчання, пропонуючи нові технічні та методичні рішення. Проте використання в освітньому процесі популярних соціальних мереж (“ВКонтакте”, Facebook, Twitter тощо) сьогодні не є масовим через відсутність інструментарію, спеціально розробленого та зорієнтованого на навчальні цілі. В роботі [32] описано проект соціально-освітньої мережі, сформованої в межах міста, яка функціонально спрямована на налагодження освітніх соціокомунікаційних зв’язків у середовищі дитячих садків, шкіл, технікумів, коледжів, університетів, бізнес-середовища та громади міста для здійснення спільної освітньої, наукової та культурної стратегічної політики. Створення такої профільної соціальної мережі, своєю чергою, вимагає розроблення комплексу інформаційних та математичних моделей, програмна реалізація яких покликана сприяти успішному функціонуванню такого типу мереж.

Використання технологічного інструментарію соціальних мереж як середовища навчання та взаємодії всіх учасників навчального процесу цікавить сьогодні багатьох дослідників. Зокрема, у [33; 34] аналізується закордонний та вітчизняний досвід використання соціальних мереж в освітніх цілях, розглядаються перспективи розвитку інформаційно-технологічних середовищ електронного навчання. Пропонуються різноманітні математичні моделі поширення інформації між членами соціальних мереж, зокрема йдеться про моделі з порогами [35], моделі незалежних каскадів [36], моделі на основі ланцюгів Маркова [37], моделі Ізінга [38].

Відомо, що соціальну мережу можна представити як граф зі скінченною множиною вершин (агентів моделі, з’єднаних ребрами, які відображають взаємодію агентів) [39–41].

З використанням формалізмів теорії графів можливе моделювання і нетривіальних, неklasичних – квантових та квантоподібних властивостей соціальних мереж. Причому квантоподібні властивості мають два джерела – це, по суті, топологія власне мережі [42–44] та квантоподібні властивості, що моделюють психіку людей, які взаємодіють в середовищі цієї мережі.

В роботі [45] розглянуто клас оптимізаційних задач управління соціальними мережами в умовах обмежень на значення думок агентів, подано методи їх розв’язання. Запропоновано відповідні математичні моделі, відзначено їх особливості та сфери їх практичного застосування.

Можна, зокрема, виділити класи моделей інформаційного впливу, управління і протиборства [42], однак, як справедливо зазначено в роботі [43], ціла низка властивостей соціальних мереж ще потребує дослідження, актуальною залишається проблема розроблення адекватних інструментів для їх моделювання.

Автори [32] запропонували оригінальні інформаційні та математичні моделі освітньої соціальної мережі, яка функціонує в межах місцевого соціополісу.

Під соціальною мережею на якісному рівні розуміється соціальна структура, яка складається з множини агентів (суб’єктів – індивідуальних чи колективних) і визначеної на ній множини відношень (сукупності зв’язків між агентами, наприклад дружба, співпраця, комунікація тощо).

Формально модель соціальної освітньої мережі (COM) подається кортежем:

$$M = (A, V, R, F),$$

де  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  – множина суб'єктів (агентів) соціальної мережі;  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$  – множина властивостей агентів, причому  $v_1 = \{v_{11}, v_{12}, \dots, v_{1r}\}$ ,  $v_2 = \{v_{21}, v_{22}, \dots, v_{2s}\}, \dots$  – множина значень властивостей;  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_k\}$  – множина відношень між агентами соціальної мережі (їх взаємозв'язок, впливи тощо);  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$  – множина дій, які допускаються з агентами через зміну їх властивостей і відношень між ними.

Графічно процес взаємодії користувачів соціальної освітньої мережі міста подається у вигляді мережевого графу зі скінченною множиною вершин (агентів). Агентами освітньої мережі є педагогічні та учнівські колективи різних видів та типів навчальних закладів міста. Множина вершин  $A$  графу містить  $n$  підмножин – блоків, які відповідають конкретному навчальному закладу. Кожний блок містить вершини (агенти). Множина ребер  $R$  графу  $G$  являє собою набір пар вершин. Отже, ребро графу з'єднує  $j$ -ту вершину блока  $A_i - a_{ji}$  з  $k$ -ю вершиною блока  $A_{i+1} - a_{j_{i+1}}$ . У межах блока агенти можуть бути об'єднані за спільними властивостями. Користувачі такої освітньої мережі тісно взаємодіють між собою, що дозволяє виділити фактори, які істотно впливають на поведінку агентів, їх активність, вибір того чи іншого освітнього контенту тощо.

Індивідуальний фактор – це власні переконання та інтереси агента без урахування зовнішнього впливу, соціальний фактор відображає взаємозв'язок з іншими агентами освітньої мережі; адміністративний фактор – вплив з боку керуючого агента.

Оскільки агенти в мережі впливають один на одного, то ступінь впливу задається матрицею  $A = ||a_{ji}||$  розмірності  $n \times n$ , де  $a_{ji} \geq 0$  – рівень довіри  $j$ -го агента  $i$ -му.

Відзначається, що соціальна освітня мережа міста поділена на групи. Кожен користувач (агент) може належати до певних підгруп залежно від його інтересів та навчальних захоплень. Вони можуть самостійно чи спільно створювати навчальний контент: глосарії, статті, мультимедійні бібліотеки тощо в межах своєї віртуальної підгрупи.

Як приклад, розглядаються агенти  $i$  та  $j$ , які навчаються в одній школі. В соціальній мережі вони входять в підгрупу ( $k$ ). У них різні значення (маси)  $\omega_i^k$  і  $\omega_j^k$  в підгрупі ( $k$ ), які визначаються за їх шкільною діяльністю. Разом з тим агенти  $i$  і  $h$  – входять в підгрупу ( $v$ ) з розроблення проекту з деякого навчального предмета. У них також різні значення (маси)  $\omega_i^v$  і  $\omega_j^v$ , залежно від стадії виконання проекту. Тоді агент  $i$  належатиме до різних підгруп, причому матиме різні значення (маси)  $\omega_i^k$  і  $\omega_i^v$ . Кількість груп, до яких належать користувачі, змінюється згідно із розподілом Пуассона [32].

Отже, з одного боку, питання дослідження соціальних мереж на сучасному етапі становлення інформаційного суспільства є дуже важливим і значна кількість науковців працює над цією проблемою, з іншого боку – можна констатувати факт активного формування чіткого математичного апарату для моделювання процесів, які відбуваються в сучасних соціальних мережах.

### Висновки

У роботі проаналізовано наукові джерела, які стосуються побудови різнопланових моделей процесів формування, розвитку та функціонування соціальних мереж різної природи та профілізації. Розкрито широкий спектр напрямів дослідження соціальних мереж, зокрема, таких як: соціологічні, статистичні, економічні тощо, причому зафіксована чітка тенденція застосування для побудови та функціонування моделей соціальних мереж математичних формалізмів, які раніше практично не використовувалися в зазначеній галузі.

Використовуючи підхід [5], можна стверджувати, що всі дослідження, які стосуються мережевих процесів (створення, росту, розвитку, соціокомунікативності), можна методологічно поділити на чотири підходи: структурний, динамічний, нормативний та ресурсний. Майже всі наукові роботи, які стосуються дослідження соціальних мереж, використовують тією чи іншою



мірою комплексно всі чотири підходи, і це виправдано в сучасних умовах розвитку та об'єктивними потребами науки.

Формуючи моделі опису сучасних соціальних мереж, фахівці виправдано схилиються до застосування потужного математичного апарату, розробленого для фізичних явищ і процесів матеріального світу. Це пов'язано з тим, що простежуються чіткі аналогії між фізичними явищами в “неживій” природі й процесами функціонування соціальних мереж, з одного боку, а з іншого боку – створюється струнка, математично прогнозована структура поведінки соціальної мережі. І ця прогнозованість дає змогу планувати розвиток мережі й впливати на цю мережу в інтересах соціуму, що є надзвичайно важливим аспектом розвитку сучасного інформаційного суспільства.

1. Сазонов В.М. Социальные сети – анализ и перспективы / Сазонов В.М. – Режим доступа: <http://spkurdyumov.ru/category/biology> / Сайт С.П. Курдюмова “Биология, психология, медицина, демография и социология”. 2. [www.socd.univ.kiev.ua/sites/.../2012\\_social\\_ni\\_merezhi\\_ta\\_ih\\_analiz.do...](http://www.socd.univ.kiev.ua/sites/.../2012_social_ni_merezhi_ta_ih_analiz.do...) 3. Ритцер Джордж. Современные социологические теории / Джордж Ритцер. – 5-е изд. – СПб.: Питер, 2002. – 688 с. 4. <http://uk.wikipedia.org>. 5. Hanneman, Robert A. and Mark Riddle. Introduction to social network methods. – Riverside, CA: University of California, Riverside, 2005. – 322 p. (published in digital form at <http://faculty.ucr.edu/~hanneman/> ). 6. <http://www.insna.org/software/index.html>. 7. Huisman M., Duijn M. Software for Social Network // Analysis Proceedings of the Sixth International Conf. on Logic and Methodology, August 17–20. – Amsterdam, The Netherlands, 2004. – P. 578–600. 8. <http://pajek.imfm.si>. 9. Burt, R. Toward a structural theory of action: network models of social structure, perception and action. – New York: Academic Press, 1982. – 381 p. 10. Wellman, B. Network analysis: some basic principles. In R. Collins (ed.). Sociological theory. – San Francisco: Jossey-Bass, 1983. – P. 155–200. 11. Демків О. Б. Розвиток та основні напрямки мережевого аналізу // *Методологія, теорія та практика соціологічного аналізу сучасного суспільства: зб. наук. праць*. – Харків: Видавничий центр Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. – 2003. – С. 161–166. 12. Wellman, B. and S. Wortley, Different Strokes from Different Folks: Community Ties and Social Support // *American Journal of Sociology*, 1990. – P. 558–588. 13. Івануцак Н.М. Математичні моделі розвитку структур комп'ютерних мереж: автореф. дис. ... канд. техн. наук за спеціальністю 01.05.02 математичне моделювання та обчислювальні методи / Наталія Михайлівна Івануцак. – Чернівці, 2013. – 20 с. 14. Girvan M. Community structure in social and biological networks / M. Girvan, M.E.J. Newman // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 2002. – Vol. 99 (12). – P. 821–826. 15. Newman M.E.J. The structure and function of complex networks / M.E.J. Newman // *SIAM Review*, 2003. – Vol. 45(2). – P. 167–256. 16. Barabasi A.L. Evolution of the social network of scientific collaborations / A.L. Barabasi, H. Jeong, Z. Neda, E. Ravasz, A. Schubert, T. Vicsek // *Physica*. – 2002. – Vol. 311. – P. 590–614. 17. Dorogovtsev S.N. Metric structure of random networks / S.N. Dorogovtsev, J.F.F. Mendes, A.N. Sattukhin // *Nucl. Phys.* – 2003. – Vol. 653. – P. 307–338. 18. Давыденко В.А. Моделирование социальных сетей: Отчет по гранту “Социолого-математическое моделирование социальных сетей” / Давыденко В.А., Ромашкина Г.Ф., Чуканов С.Н. // *Вестник Томского государственного университета*. – Режим доступа: [http://www.tnmlib.ru/resources/books/pdf/Romashkina\\_3pdf](http://www.tnmlib.ru/resources/books/pdf/Romashkina_3pdf). 19. Левкович-Маслюк Л. Математика этих сетей / Левкович-Маслюк Леонид // *Компьютера*. – 2005. – № 35 (28 сентября). – Режим доступа: <http://www.kinnet.ru/cterra/607/230222.html>. 20. Градосельская Г.В. Анализ социальных сетей: автореф. дис. ... на канд. социол. наук за спеціальністю 22.00.01 – теорія, методологія і історія соціології / Галина Витальевна Градосельская. – Режим доступа: [http://www.ecsoc.ru/images/pub\\_ecsoc/2004/09/29/0000011331/Gradoselskaya\\_Referat.doc](http://www.ecsoc.ru/images/pub_ecsoc/2004/09/29/0000011331/Gradoselskaya_Referat.doc). 21. Трофимова И.Н. Моделирование социального поведения / Трофимова И.Н. – Режим доступа: <http://spkurdyumov.narod.ru/Trophimova9.htm> Сайт С.П.Курдюмова “Синергетика”. 22. Виклюк Я. І. Моделювання соціально-економічних систем і розрахунок їх динамічних показників на основі аналогій / Виклюк Я. І. // *Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології*. – 2010. – Вип.11. – С. 39–48. 23. Виклюк Я.І. Моделювання флуктуацій росту та сегментації соціально-економічних об'єктів у процесі фрактального росту в нечіткому потенціальному полі / Я.І. Виклюк // *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. – 2009. – № 1. – С.23–32. 24. Виклюк Я.І. *Методологія прогнозування соціально-економічних процесів методами фрактального росту*

кристалів у нечіткому потенціальному полі / Я.І. Вихлюк // Вісник Тернопільського держ. техн. ун-ту. – 2008. – № 2. – С.153–162. 25. Вихлюк Я.І. Методи побудови густини потенціального поля рекреаційної привабливості території / Я.І.Вихлюк, О.І.Артемченко // Штучний інтелект. – 2009. – № 2. – С.151–160. 26. Болеста І.М. Фізика твердого тіла: навч. посіб.. – Львів: Видавн. Центр. ЛНУ імені Івана Франка. 2003. – 480 с. 27. Вихлюк Я.І. Фрактальні властивості та динаміка росту атракторів методом “випадкового дощу” для моделювання соціально-економічних систем // Математичні машини і системи. – 2009. – № 4. – С.169–178. 28. Каноны рынка и законы экономики / НАН Украины. Институт экономики и промышленности; И.И. Амоша, Е.Т. Иванов, Н.Д.Прокопенко и др. – Донецк, 2005. – Кн. 8: Экономическое проектирование. – 548 с. 29. Иванов Е.Т. Основы теоретической экономики / НАН Украины. Институт экономики и промышленности / Иванов Е.Т. – Донецк, 2005.– 376 с. 30. Буланичев В.А. Модельный подход к управлению вузами как самоорганизующимися системами / Буланичев В.А., Серков Л.А. // Нелинейный мир. – 2006. – № 3, Т.4. – С.137–143. 31. Шаронова Н.В. Синергетика і прийняття управлінського рішення в умовах функціонування корпоративної екологічної системи / Шаронова Н.В., Козуля Т.В. // Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія. – 2005. – № 2. – С.31–36. 32. Назарук М.В. Моделювання міського освітнього середовища як профільної соціальної мережі / Пасічник В.В. // Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія. – 2013. – № 3. – С.42–47. 33. Феценко А. В. Социальные сети в образовании: анализ опыта и перспективы развития / А. В. Феценко// Сборник статей “Гуманитарная информатика”: Выпуск 6, 2011. – С. 124–134. 34. Клименко О. А. Социальные сети как средство обучения и взаимодействия участников образовательного процесса / О. А. Клименко // Теория и практика образования в современном мире: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, февраль 2012 г.). – СПб.: Реноме, 2012. – С. 405–407. 35. Granovetter M. Threshold Models of Collective Behavior / M.Granovetter // American Journal of Sociology, 1978. – P. 1420–1443. 36. Goldenberg J. Talk of Network: A Complex Systems Look at the Underlying Process of Word-of-Mouth / J. Goldenberg, B.Libai B., E.Muller // Marketing Letters, 2001. – No. 2. – P. 11–34. 37. Губанов Д.А. Модели влияния в социальных сетях / Д. А. Губанов, Д. А. Новиков, А. Г. Чхартишвили // Управление большими системами: Вып. 27. – М.: ИПУ РАН, 2009. – С. 205–281. 38. Губанов Д.А., Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства / Д. А. Губанов, Д.А.Новиков, А. Г. Чхартишвили.– М.: Физматлит, 2010. – 228 с. 39. Karimi F. Threshold Model of Cascades in Temporal Networks / F. Karimi, P.Holme, 2012 –ArXiv: 1207. 40. Santoro N.et al. Time-Varying Graphs and Social Network Analysis: Temporal Indicators and Metrics/ Santoro N.et al. –ArXiv: 1102.0629, 2011. 41. Tang J., Musolesi M., Mascolo C., Latora V. Temporal Distance Metrics for Social Network Analysis / J. Tang, M. Musolesi, C. Mascolo, V. Latora // Proceedings of the 2nd ACM SIGCOMM Workshop on Online Social Networks, 2009. 42. Perseguers S. Quantum Random Networks / S. Perseguers, M. Lewenstein, A. Acín, J. Cirac // Nature Physics, 2010 – DOI 10.1038/NPHYS1665. 43. Takaguchi T. et al. Importance of Individual Events in Temporal Networks / T. Takaguchi, 2012. – ArXiv: 1205.4808v1. 44. Wiersma D. Random Quantum Networks / D.Wiersma // Science, 2010. – № 327 – P. 1333. 45. Зуев А. С. Модели управления мнениями агентов в социальных сетях / А. С. Зуев, Д.Н. Федянин // Проблемы управления, 2011. – № 2.– С. 37–45.