

Пилипенко А. Г.

## МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОЇ АКТИВАЦІЇ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ЗВ'ЯЗКІВ В ОНТОЛОГІЧНИХ ГРАФАХ В УМОВАХ ОПРАЦЮВАННЯ РІЗНОРІДНИХ ДАНИХ

**Предмет дослідження** – процеси інтерпретації структурних залежностей у корпоративних онтологічних графах в умовах опрацювання різномірних даних (текстових новинних і кількісних технічних сигналів). Описано перехід від статичного трактування графа знань як фіксованого набору зв'язків до динамічної моделі, де структурні відношення є простором потенційних кореляцій. **Мета** статті полягає у формуванні концептуальної та формалізованої моделі умовної активації залежностей у корпоративних онтологічних графах, що дає змогу відокремити сталі топологічні зв'язки від їх ситуативної впливовості в конкретному часовому контексті. **Завдання дослідження:** формалізація структурного шару графа як системи потенційних залежностей; визначення критеріїв і функції активації для переходу залежності в активний стан; розроблення механізму інтеграції подієвих сигналів як тригерів активації; алгоритмічна реалізація моделі в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень. **Методи дослідження** основані на теорії графів, онтологічному моделюванні та семантичному міркуванні (semantic reasoning). Процедурну реалізацію моделі здійснено в межах багатоагентного пайплайну з упровадженням великих мовних моделей (LLM-агентів) для інтерпретації настрою новин і агрегації різномірних ознак без параметричного навчання. **Результати** емпіричної перевірки, проведеної в режимі суворої часової узгодженості (forward-only), підтвердили ефективність моделі. У режимі close→close використання графового контексту забезпечило зростання кумулятивної дохідності з +3.58% до +13.42%, що свідчить про стійкий ефект підсилення сигналу. У режимі close→open досягнуто максимального результату +19.80%, що демонструє домінуючу роль новинно-семантичного компонента в нічному режимі за умови коригувального впливу структури графа. **Висновки.** Запропонована модель дає змогу усунути некоректне отождошення наявності структурного зв'язку з фактичним впливом. Установлено, що інтеграція формалізованого механізму активації (на основі структурного шляху до 2-го, релевантного сигналу та часової валідності) забезпечує систематичне покращення якості прогнозів у задачах опрацювання різномірних даних.

**Ключові слова:** модель активації; граф знань; різномірні дані; LLM-агенти; інформаційні системи; прийняття рішень.

### Постановка проблеми

У сучасних дослідженнях онтологічні графові моделі відіграють ключову роль у моделюванні складних систем, де зв'язки між об'єктами змінюються в часі (наприклад, у соціальних мережах, біологічних системах, фінансових ринках), а також у корпоративних інформаційних системах і системах підтримки прийняття рішень [1–3]. Наявні підходи до аналізу часового графового подання спрямовані на вивчення структури графа та її впливу на подання вузлів. Але ці підходи зазвичай трактують зв'язки як активні постійно або не формалізують умови їх динамічної активації в контексті зовнішніх подієвих сигналів.

У корпоративних онтологічних графах структурні зв'язки (наприклад, "постачальник – клієнт" або "фірма – конкурент") традиційно розглядаються як статичні або як апіорно задані для моделювання впливу в задачах прогнозування. Але в реальних економічних системах наявність

структурного зв'язку не гарантує його фактичного впливу в будь-який момент часу [4]. Вплив конкретної кореляційної залежності може активуватися лише за наявності певних умов або подій.

Невідповідність між фіксованою структурою графа знань і динамічною актуальністю впливу зв'язків створює фундаментальну проблему: відсутність формального механізму, що відокремлює потенційний структурний зв'язок від його часової активації як впливового фактора в конкретному контексті або моменті часу. Наявні дослідження динамічних графів розглядають зміну топології чи часові "скріншоти" графа, але не забезпечують формальної умовної активації залежностей на основі сигнальних і часових критеріїв. У практичних задачах, наприклад, для прогнозування напрямку руху цін або динамічної оцінки ризиків необхідне моделювання, що бере до уваги не лише "наявність" зв'язків, але й умови їх наявного активаційного впливу. Подібна потреба інтеграції різномірних джерел інформації спостерігається також

у дослідженнях фінансового прогнозування, де поєднання технічних, фундаментальних і текстових даних сприяє підвищенню якості інтерпретації ринкових сигналів [5]. Реалізація такого механізму дає змогу більш точно подавати події й часові контексти, що визначають зміну станів у складних системах, які описуються графами знань. Використання подієвих графів знань для опису процесів і взаємодій між елементами складних систем також висвітлюється в сучасних працях [6].

Отже, актуальність дослідження зумовлена необхідністю формалізації механізмів динамічної активації кореляційних залежностей у корпоративних онтологічних графах і розроблення моделей, здатних брати до уваги часові й сигнальні умови, що визначають фактичну дію зв'язків у конкретні моменти часу. Це має важливе значення для побудови більш точних і адаптивних моделей і систем підтримки прийняття рішень, що інтегрують структурні знання й методи інтелектуального аналізу даних [3, 7].

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

---

Як було зазначено, динамічні графи як моделі змінюваних відношень між об'єктами досліджуються в різних напрямках сучасної науки. У класичних підходах до аналізу часових графів широко застосовуються моделі на основі графових мереж із часовим компонентом, а також підходи до міркування в темпоральних графах знань (*temporal knowledge graph reasoning*), які беруть до уваги часові залежності між сутностями та їх відношеннями [4, 8, 9]. Поряд із дослідженнями темпоральних і динамічних графів у сучасних роботах активно розвивається напрям онтологічно керованих графових моделей, де особливу увагу приділено семантичній узгодженості подання сутностей і відношень. Такі підходи розглядають онтологію як концептуальний рівень інтеграції знань, що забезпечує формалізацію змісту зв'язків, уніфікацію даних з різномірних джерел і підвищення інтерпретованості аналітичних процедур у складних інформаційних системах [10, 11]. Подібну інтерпретацію ролі графів знань як інфраструктури аналітичного оброблення даних також висвітлено в сучасних дослідженнях *knowledge graph-driven* підходів до підтримки прийняття рішень, де наголошено на значенні семантично узгодженого подання зв'язків для побудови інтелектуальних

аналітичних систем [12]. Так, у вивченні графових моделей значну увагу приділено побудові багаторівневого подання графів знань і використанню структурної інформації різних рівнів для задач міркування й аналізу залежностей між сутностями [13]. Окремим напрямом досліджень є аналіз структурних залежностей у графових моделях даних з огляду на часові обмеження. Зокрема в роботах, присвячених темпоральним графовим функціональним залежностям (*temporal graph functional dependencies*), залежності між сутностями розглянуто відповідно до часових обмежень та еволюції графових даних [14]. Однак такі підходи здебільшого спрямовані на виявлення й перевірку узгодженості даних у часових графах, а не на формалізацію умовної активації впливу структурних зв'язків у конкретному контексті подій.

У подібному контексті в низці студій запропоновано подієво-орієнтовані підходи до використання графів знань, у межах яких події є механізмами інтерпретації або уточнення взаємозв'язків між сутностями. Зокрема в роботі [15] запропоновано підхід до побудови подієво-орієнтованих графів знань для аналізу складних виробничих систем, де події – це тригери для інтерпретації залежностей між елементами системи. Подієві графи знань також застосовуються для моделювання інженерних процесів і взаємодій між їх елементами [6]. Проте подібні моделі здебільшого орієнтовані на аналіз причинно-наслідкових зв'язків або діагностику подій, тоді як задача формалізації умовної активації структурних залежностей у графі знань у контексті зовнішніх сигналів залишається недостатньо вивченою.

У розвитку досліджень графових моделей наступним концептуальним кроком стало формування напряму онтологічно керованих графових моделей, де структурні зв'язки розглядаються не лише як топологічні елементи графа, але і як носії формалізованого семантичного змісту. Це дає змогу розмежувати опис потенційних залежностей між сутностями й механізми їх інтерпретації в аналітичних задачах. У дослідженнях з онтологічно керованої інтеграції бізнес-даних наголошено, що використання онтологій сприяє гнучкості побудови аналітичних моделей та підвищує прозорість і відтворюваність процесів підтримки прийняття рішень у багатоджерельних інформаційних середовищах, що особливо важливо для побудови

пояснюваних аналітичних моделей на основі графів знань [10–12].

Автори студій, які розглядають корпоративні графи знань, найчастіше трактують структурні відношення як фіксовані й завжди потенційно активні для задач прогнозування. Такі моделі не забезпечують явного механізму умовної активації – наявність зв'язку еквівалентна його впливовості в будь-який момент. Якщо говорити про часове графове навчання (*temporal graph learning*), то існують підходи, що використовують події як тригери для зміни ваг або активації підграфів. Але ці підходи орієнтовані на внутрішню еволюцію графа, а не на інтеграцію зовнішніх подієвих сигналів як умов, що активують кореляційні залежності.

Отже, сучасні дослідження демонструють, що поєднання графових моделей з онтологічним концептуальним рівнем створює методологічні передумови для формалізованого опису умов інтерпретації структурних залежностей між сутностями. Саме онтологічно визначений підхід сприяє розмежуванню потенційної наявності зв'язку й умов його фактичної актуалізації в конкретному подієвому контексті.

Попри значну кількість робіт у галузі динамічних графів, часових залежностей і графових знань, завдання формалізації механізмів умовної активації структурних залежностей у корпоративних онтологічних графах на основі зовнішніх подієвих сигналів залишається недостатньо вивченим. Саме ця нерозв'язана частина визначає предмет цього дослідження, у якому онтологічна модель розглядається як концептуальна основа формалізованого опису структурних залежностей, що дає змогу відокремити їх потенційну наявність від умов фактичної активації в конкретному подієвому контексті.

#### Визначення мети й завдань дослідження

Метою статті є розроблення моделі умовної активації залежностей у корпоративних онтологічних графах у процесі опрацювання різномірних даних, яка дає змогу: інтерпретувати структурні відношення як потенційні залежності; формально визначати умови їх динамічної активації; розмежовувати постійні структурні зв'язки та їх контекстно-часову впливовість; інтегрувати подієві сигнали як тригери активації залежностей; забезпечувати можливість

алгоритмічної реалізації механізму активації в інформаційних системах.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- 1) формалізувати структурний шар корпоративного онтологічного графа як систему потенційних залежностей із типізованими відношеннями;
- 2) визначити набір умов і функцію активації, за допомогою яких потенційна залежність переходить у стан активної;
- 3) побудувати формальний механізм функції активації залежностей;
- 4) показати можливість інтеграції моделі в системи прогнозування, що працюють із різномірними даними.

Запропонований підхід демонструє використання онтологічного концептуального рівня як основи для формалізованого аналізу умовної активності структурних залежностей у корпоративних графах знань. Отже, перед авторами статті постає завдання побудови формальної моделі, яка дасть змогу перейти від статичної інтерпретації графа знань до умовно-динамічної інтерпретації залежностей, що активуються подієвими й часовими факторами.

#### Запропонована модель

Корпоративну модель знань подано у вигляді онтологічного графа, який фіксує множину сутностей (компаній) і типізовані відношення між ними (постачальник, конкурент, партнер, дочірня структура, клієнт тощо). Така модель задає структурний простір корпоративних взаємозв'язків і є статичною: наявність ребра відображає факт існування економічного відношення, однак не визначає його актуальну значущість у конкретний момент часу. У деяких підходах до моделювання динамічних графів розглядається можливість умовної зміни стану або появи зв'язків залежно від контекстних факторів і часових умов [16]. Проте в корпоративних онтологічних графах структурні відношення зазвичай залишаються фіксованими, тоді як змінюється не сама структура, а інтерпретація їх впливу в конкретному контексті. У класичній інтерпретації графових структур наявність зв'язку часто неявно ототожнюється з наявністю залежності, що узгоджується з підходами до формалізації так званих графових функціональних залежностей (*graph functional dependencies*) у дослідженнях

графових даних [17, 18]. Проте в корпоративному середовищі структурний зв'язок і фактичний вплив не є еквівалентними: економічні відносини можуть зберігатися тривалий час, але ставати значущими лише за настання певних подій, інформаційних сигналів або ринкових умов.

У межах запропонованого підходу запропоновано розрізнення між структурним відношенням як елементом онтологічної моделі знань і активною залежністю як динамічним станом цього відношення, що виникає за виконання додаткових умов. Відповідно, онтологічний граф розглядається як простір потенційних залежностей, а не як фіксована система діючих впливів. Подібне тлумачення узгоджується з підходами до формального опису залежностей у графових моделях даних [17]. Таке розмежування також співвідноситься з різницею між структурними й функціональними зв'язками в складних мережах [4]. Перехід від статичної структури до динамічної інтерпретації реалізується через модель умовної активації залежностей, яка формалізує умови, за яких структурний зв'язок набуває статусу активного в заданому часовому контексті. Така інтерпретація дає змогу використовувати граф знань не як механізм прямої передачі сигналів, а як структурне обмеження простору допустимих залежностей у процедурі прийняття рішень, що узгоджується із сучасними підходами до використання графів знань як структурної основи інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень [7].

Формально корпоративний онтологічний граф задається як

$$G=(V,E,\tau V,\tau E), \quad (1)$$

де  $V$  – множина сутностей (корпоративних вузлів);  $E \subseteq V \times V$  – множина типізованих структурних відношень;  $\tau E(e)$  – тип відношення (*supplier*, *competitor*, *partner* тощо);  $\tau V(v)$  – тип вершини (тип економічного суб'єкта в корпоративному графі).

Кожне структурне відношення сутностей  $e \in E$  інтерпретується як потенційна залежність. Наявність відношення не означає фактичного впливу між сутностями. Для пари сутностей  $(u,v)$  потенційна залежність існує, якщо  $(u,v) \in E$  або є типізований шлях  $P_{u \rightarrow v} = (u = v_0, v_1, \dots, v_k = v)$ , де  $(v_i, v_{i+1}) \in E$ . Шлях  $P_{u \rightarrow v}$  розглядається як орієнтований ланцюг

структурних відношень графа, у якому кожне ребро  $(v_i, v_{i+1}) \in E$  зберігає свій тип  $\tau E(e)$ . Отже, потенційна залежність відтворює структурну можливість передачі впливу.

Для переходу до динамічної інтерпретації впроваджено сигнальну функцію  $S(u,t)$ , що відображає наявність релевантного сигналу, пов'язаного із сутністю  $u$  у момент часу  $t$ . Сигнал може мати довільну природу (текстову, числову або агреговану), модель не накладає обмежень на спосіб його обчислення. Сигнал вважається релевантним, якщо  $S(u,t) \neq 0$ . Час  $t_u$  відповідає моменту виникнення сигналу, пов'язаного із сутністю  $u$ , тоді як  $t_v$  визначає момент прийняття рішення для цільової сутності  $v$ . Додатково впроваджено параметр часової валідності  $\Delta t > 0$ . Передача впливу від  $u$  до  $v$  допускається лише за умови часової узгодженості  $0 \leq (t_v - t_u) \leq \Delta t$ .

Активна залежність визначається функцією  $D_{active}(u,v,t_v) \in \{0,1\}$ . Значення  $D_{active} = 1$  має місце тоді й лише тоді, коли одночасно виконуються три умови:

- 1) існує потенційна залежність між  $u$  та  $v$  (пряме відношення або структурний шлях);
- 2) існує релевантний сигнал  $S(u,t_u)$ ;
- 3) реалізується умова часової валідності. В усіх інших випадках  $D_{active}(u,v,t_v) = 0$ .

Отже, структурне відношення є статичним елементом моделі знань, тоді як активна залежність зумовлена його динамічним станом, що залежить від сигналу й часу. Модель є абстрактною та відокремленою від конкретних алгоритмів аналізу даних.

Процедурна реалізація моделі здійснюється в межах фіксованого багатоагентного LLM-пайплайну без параметричного навчання. Формування сигналів відбувається у два етапи.

По-перше, для кожної новинної статті, що стосується компанії  $u$  у день  $t$ , застосовується агент аналізу тональності (*Sentiment Agent*), який генерує стислий опис події та категоріальний сентимент. Далі агент-агрегатор (*Aggregator Agent*) об'єднує всі статті за день, усуває дублікати, формує узагальнений підсумок, підсумковий сентимент, попередній

напрямок прогнозу й рівень впевненості. Як наслідок, формується агрегований новинний сигнал  $S_{news}(u, t)$ .

По-друге, формується квантитативний (технічний) сигнал  $S_{TA}(u, t)$ . Технічний агент отримує структурований словник ознак  $X(u, t)$ , розрахованих до моменту прогнозування, нормалізованих, дискретизованих, приведенних до фіксованих доменів і розділених на функціональні групи; подібне поєднання різнорідних фінансових ознак, зокрема технічних, фундаментальних і текстових, використовується також у задачах прогнозування ринкової динаміки [5]. Агент працює за жорстко заданою нормативною специфікацією, яка визначає правила інтерпретації вхідних ознак і узгодження сигналів різних груп. У межах цієї процедури перевіряється логічна узгодженість ознак, попередньо визначається напрямок сигналу, а також оцінюється рівень впевненості. У разі суперечливих або недостатніх сигналів система допускає нейтральне рішення (*Neutral*).

LLM у цьому процесі не здійснює числових обчислень, а виконує інтерпретаційну процедуру відповідно до формалізованого протоколу семантичного міркування (*semantic reasoning*).

На етапі визначення активних залежностей для цільової компанії  $v$  у момент прийняття рішення  $t_v$  з графа знань вилучається підграф завглибшки до двох кроків (*2-hop neighborhood*), який містить всі сутності  $u$ , пов'язані з  $v$  безпосередньо або через один проміжний вузол. Кожен *2-hop*-ланцюжок подано як типізовану послідовність  $P_{u \rightarrow v}$  довжини  $k \leq 2$ . Для кожної сутності  $u$  перевіряється наявність потенційної залежності, релевантного сигналу  $S(u, t_u)$  та реалізації умов часової валідності. За виконання цих умов залежність вважається активною та  $D_{active}(u, v, t_v) = 1$ . Обмеження глибини до *2-hop* зумовлено обмеженням контекстного вікна LLM, припущенням про затухання впливу зі збільшенням довжини ланцюжка й необхідністю збереження інтерпретованості процесу семантичного міркування.

Для оцінювання внеску структурного контексту реалізовано два варіанти фінальної агрегації.

У варіанті AGG фінальний агент отримує лише агрегований новинний і технічний сигнали цільової компанії; графовий контекст не використовується.

У варіанті GRAPH додатково передаються *2-hop*-ланцюжки зв'язків, типи відношень і агреговані сигнали пов'язаних компаній. Граф у цьому разі не генерує сигнал безпосередньо, а є структурним обмеженням простору потенційних залежностей, визначаючи допустимі шляхи передачі впливу між сутностями.

Експериментальне оцінювання проводилося в режимі тільки вперед (*forward-only*) без використання майбутньої інформації. Для кожного торгового дня  $t$  сигнали формувалися на основі даних, доступних на момент закриття дня, а прогноз формувався на період  $t+1$  у режимах *Close-to-Close* й *Close-to-Open*. Для кожного тикера генерувався один із сигналів *Up*, *Down* або *Neutral*. Потім формувався рівноваговий портфель за всіма активними сигналами без огляду на транзакційні витрати.

Основними метриками були кумулятивна дохідність, середня денна дохідність, коефіцієнт Шарпа (*Sharpe ratio*) й частка прибуткових угод. Додатково досліджувався розподіл прибутковості за рівнями *confidence*, чутливість результатів до режимів *Close-to-Close* та *Close-to-Open* і різниця між AGG і GRAPH. Точність прогнозу не розглядалася як базова метрика, оскільки задача інтерпретується як задача формування торгового рішення.

Обмеженнями експерименту можна вважати статичність графа знань, обмеження глибини структурного контексту до двох кроків (*2-hop*), ігнорування транзакційних витрат і параметричного навчання, а також використання однієї LLM-моделі без тонкого налаштування (*fine-tuning*).

Для експерименту порівняно три підходи до формування торгового сигналу на горизонт  $T+1$ : агента технічного аналізу (ТА), моделі агрегації новин і технічних ознак без застосування графа (AGG) і моделі з огляду на структурний графовий контекст (GRAPH).

Агент технічного аналізу формує сигнал без параметричного навчання, використовуючи фіксований алгоритм семантичного маркування поверх попередньо розрахованих технічних ознак. На відміну від класичних підходів, індикатори не застосовуються як механічні тригери або входи моделі машинного навчання, а подаються в нормалізованій і дискретизованій формі, адаптованій для інтерпретації LLM. Ознаки структуровано за функціональними групами (тренд, імпульс, діапазони / пробі, обсяг, волатильність тощо), кожна з яких має фіксовану роль у процедурі

прийняття рішення. Для уникнення подвійного врахування корельованих індикаторів використовується правило вибору одного репрезентативного сигналу в межах сімейства, а шумові значення відсікаються через зони нейтральності.

Ключовою властивістю агента ТА є консервативність за замовчуванням: у разі суперечностей між групами ознак або слабкої

роздільності сигналів повертається прогноз *Neutral* з низьким рівнем упевненості. Це забезпечує інтерпретованість, відтворюваність і стійкість до випадкових флуктуацій.

У режимі стандартної денної дохідності *close*→*close*  $T+1$  отримано такі значення кумулятивної дохідності рівновагового портфеля (рис. 1): ТА -4.35%; AGG +3.58%; GRAPH +13.42%.

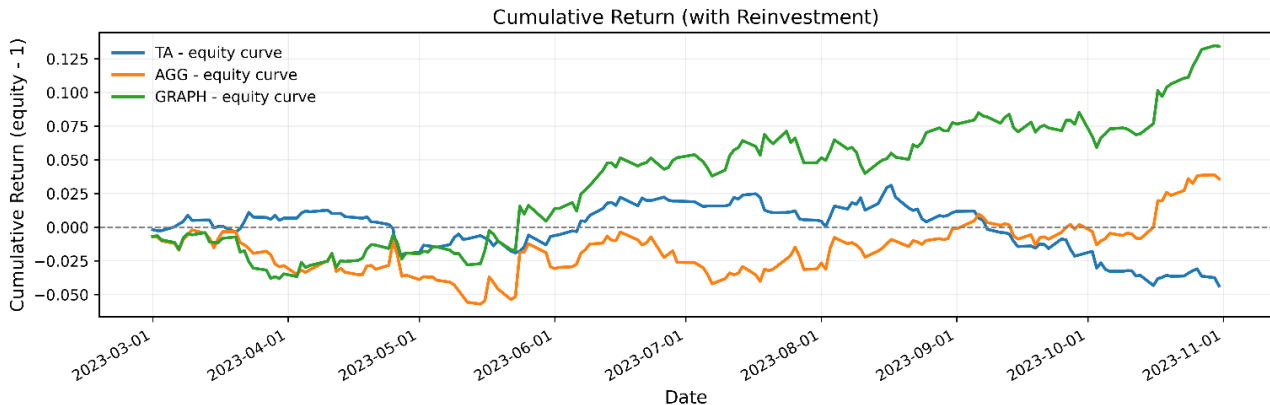


Рис. 1. Кумулятивна дохідність рівновагового портфеля в режимі *close*→*close*

Агент технічного аналізу (ТА) демонструє від'ємну дохідність упродовж більшої частини періоду, що свідчить про обмежену ефективність ізольованих технічних сигналів у певному ринковому режимі. Стратегія AGG, яка поєднує семантичну інтерпретацію новин із технічним сигналом, забезпечує помірно позитивний результат, однак її кумулятивна дохідність залишається відносно низькою та супроводжується підвищеною варіативністю.

Додавання графового контексту призводить до суттєвого покращення результатів: стратегія

GRAPH досягає кумулятивної дохідності +13.42%, що приблизно на 10 відсоткових пунктів перевищує AGG. Важливо, що ця перевага не є наслідком поодиноких екстремальних днів. Аналіз траєкторії кумулятивної дохідності свідчить про поступове й відносно стабільне накопичення результату, що вказує на стійкість ефекту інтеграції структурного контексту.

У режимі *close*→*open* отримано такі значення кумулятивної дохідності рівновагового портфеля (рис. 2): ТА -1.64%; AGG +17.82%; GRAPH +19.80%.

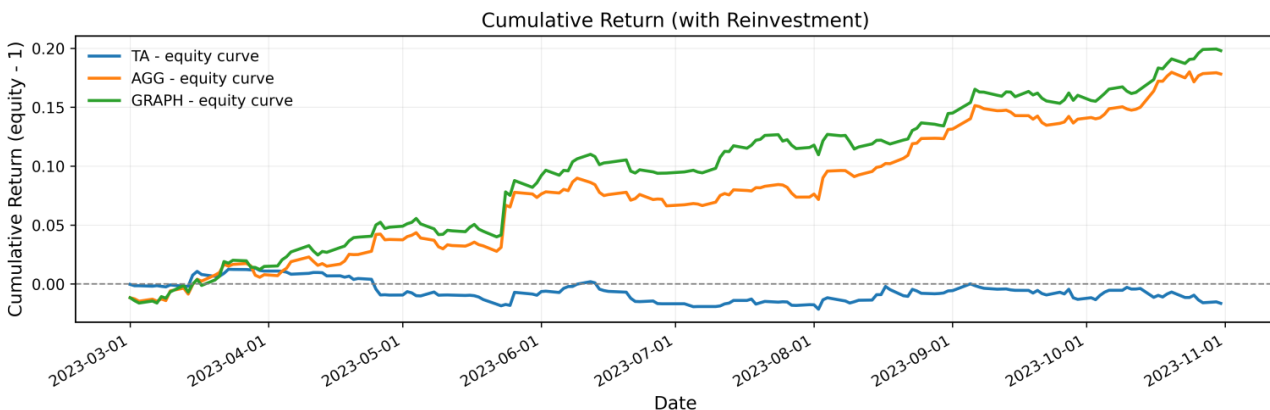


Рис. 2. Кумулятивна дохідність рівновагового портфеля в режимі *close*→*open*

Результати демонструють суттєву перевагу стратегій, що використовують новинний контекст

(AGG і GRAPH), над чистим технічним аналізом і ринковим бенчмарком. Це свідчить про високу

чутливість режиму нічного цінового розриву до семантичної інтерпретації новин. Динаміка кумулятивної дохідності свідчить про близькість траєкторій AGG і GRAPH протягом більшої частини періоду. Підсумкова різниця між ними становить приблизно +2 відсоткових пунктів, що є істотно меншою, ніж у режимі *close*→*close*. Отже, у нічному режимі основним джерелом сигналу є новинно-семантичний компонент, тоді як графовий контекст відіграє коригувальну роль, уточнюючи базовий сигнал.

### Висновки

У статті запропоновано модель умовної активації залежностей, її процедурну реалізацію в LLM-архітектурі та протокол експериментальної оцінки в режимі суворої часової узгодженості (*forward-only*,  $T+1$ ). Модель спрямована на дослідження механізму динамічної інтерпретації структурних залежностей у корпоративному онтологічному графі.

Запропоновано зміну підходу до інтерпретації графа знань: від статичної семантики до динамічної моделі. Тут граф є не джерелом безпосереднього сигналу, а простором потенційних залежностей. Активація зв'язків відбувається лише за виконання формально визначених умов, що усуває некоректне ототожнення наявності ребра з наявністю фактичного впливу. Такий підхід забезпечує чітке розмежування структурного й динамічного рівнів [4]. Структурний шар онтологічного графа залишається фіксованим, тоді як контекстний шар сигналів має часову природу. Модель умовної активації виконує роль формального механізму переходу між цими рівнями.

Було впроваджено строгий критерій активації, оснований на одночасному виконанні трьох умов: наявності структурного шляху (до *2-hop*), релевантного сигналу й часової валідності. Така формалізація забезпечує відтворюваність, інтерпретованість і відокремленість моделі від конкретних алгоритмів обчислення сигналів.

Результати проведених експериментів підтверджують практичну значущість структурного контексту. У режимі *close*→*close* варіант GRAPH продемонстрував кумулятивну дохідність +13.42% проти +3.58% у варіанті AGG та -4.35% у технічного агента (TA), що означає приріст приблизно на 10 відсоткових пунктів щодо моделі без графового

контексту. У режимі *close*→*open* перевага GRAPH над AGG зберігається (+19.80% проти +17.82%), хоча її масштаб і зменшується приблизно до двох пунктів, що свідчить про домінування новинно-семантичного компонента в нічному інформаційному режимі. В обох випадках TA демонструє від'ємний або нестійкий результат (-1.64% та -4.35%), що свідчить про обмеженість ізольованих технічних сигналів у досліджуваній постановці.

Загалом досягнуті результати підтверджують, що інтеграція формалізованого механізму умовної активації в межах корпоративного онтологічного графа забезпечує систематичне покращення якості сигналу порівняно з моделлю без структурного контексту. Внесок графового шару насамперед полягає в стабілізації та посиленні новинно-технічного сигналу, що свідчить про доцільність подальших досліджень у напрямі динамічних моделей інтерпретації структурних залежностей.

### Конфлікт інтересів

Автор статті декларує, що не має конфлікту інтересів, зокрема фінансового, особистого, авторського чи будь-якого іншого характеру, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, опубліковані в цій роботі.

### Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

### Доступність даних

Дані будуть надані за обґрунтованим запитом.

### Використання засобів штучного інтелекту

Під час підготовки цього рукопису автор застосовував модель *Gemini 3 Flash (Thinking mode)*. За допомогою ШІ виконано стилістичне редагування авторського тексту й структуровано попередньо зібрані тези. Крім цього, штучний інтелект використано на етапі збору інформації для пошуку актуальних джерел у відкритих наукових базах даних. У процесі пошуку інформації інструмент застосовувався для ідентифікації ключових тем і переліку публікацій, які згодом автор опрацьовував

вручну. Усі згенеровані мовні виправлення ретельно перевірено на предмет збереження оригінального змісту. Фактологічна інформація та посилання, знайдені за допомогою ШІ, верифіковано через першоджерела й офіційні бази даних.

Використання штучного інтелекту жодним чином не вплинуло на інтерпретацію інформації, формування наукової гіпотези або кінцеві висновки дослідження. Весь науковий зміст і аналіз результатів є продуктом інтелектуальної праці автора.

## References

1. Wu, Z., Zhang, H. (2025), "Research on the construction of dynamic knowledge graph and intelligent decision-making for enterprise human resource information based on federated hyper graph neural network", *Discover Applied Sciences*, Vol. 7, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-025-08006-w>
2. Wang, T. (2026), "A causal discovery-based adaptive fusion algorithm for multi-source heterogeneous knowledge graphs", *Scientific Reports*, Vol. 16. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-34507-0>
3. Wang, S., Yang, H., Bai, G. (2025), "Construction of intelligent decision support systems through integration of retrieval-augmented generation and knowledge graphs", *Scientific Reports*, Vol. 15. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-19257-3>
4. Voutsas, V., Van Mieghem, P., Kooij, R. (2021), "Two classes of functional connectivity in dynamical processes in networks", *Journal of the Royal Society Interface*, Vol. 18, No. 181. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsif.2021.0486>
5. Zhong, S., Hitchcock, D. (2021), "S&P 500 stock price prediction using technical, fundamental and text data", *Statistics, Optimization & Information Computing*, Vol. 9, P. 769–788. DOI: <https://doi.org/10.19139/soic-2310-5070-1362>
6. Chen, G., Auwal, A., Chen Y., Li, L., Khandaker N., Yongbo L., Khalid E., (2025), "Event Knowledge Graph for a Knowledge-Based Design Process Model for Additive Manufacturing", *Machines*, Vol. 13. 112. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines13020112>
7. Napoli, R., Morabito, G., Celesti, A., Villari, M., Fazio, M. (2025), "Knowledge Graphs-Driven Intelligence for Distributed Decision Systems", *Proceedings of the 18th IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC 2025)*, P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1145/3773274.3774268>
8. Feng, S., Zhou, C., Liu, Q., Ji, X., Huang, M. (2024), "Temporal Knowledge Graph Reasoning Based on Entity Relationship Similarity Perception", *Electronics*, Vol. 13, No. 12. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics13122417>
9. Zeng, Y., Hou, X., Wang, X., Li, J. (2025), "Towards a Unified Temporal and Event Logic Paradigm for Multi-Hop Path Reasoning in Knowledge Graphs", *Electronics*, Vol. 14, No. 3, P. 516. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics14030516>
10. Roman, D., Alexiev, V., Paniagua, J., Elvæsæter, B., von Zernichow, B. M., Soylu, A., Simeonov, B., Taggart, C. (2022), "The euBusinessGraph ontology: A lightweight ontology for harmonizing basic company information", *Semantic Web*, Vol. 13, No. 1, P. 41–68. DOI: <https://doi.org/10.3233/SW-210424>
11. Blankenberg, C., Gebel-Sauer, B., Schubert, P. (2022), "Using a graph database for the ontology-based information integration of business objects from heterogenous Business Information Systems", *Procedia Computer Science*, Vol. 196, P. 314–323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.019>
12. Dey, L. (2024), "Knowledge graph-driven data processing for business intelligence", *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, Vol. 14, e1529. DOI: <https://doi.org/10.1002/widm.1529>
13. Shang, Z., Wang, P., Ke, W., Liu, J., Huang, H., Li, G., Wu, C., Liu, J., Chen, X., Li, Y. (2025), "Learning Multi-Granularity and Adaptive Representation for Knowledge Graph Reasoning", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 37. DOI: <https://doi.org/10.1109/TKDE.2025.3579774>
14. Noronha, J., Fan, W., Geerts, F., Lu, J. (2021), "Discovery of Temporal Graph Functional Dependencies", *Proceedings of the 30th ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM)*, P. 1366–1375. DOI: <https://doi.org/10.1145/3459637.3482087>
15. Cen, W., Su, C., Chen, G., Xie, L. (2025), "Event-driven causal knowledge graphs for bottleneck root cause analysis in manufacturing systems", *Expert Systems with Applications*, Vol. 259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.129117>
16. Goetz, M., Humm, B. (2025), "Process Anomaly Detection in Cyber-Physical Production Systems Based on Conditional Discrete-Time Dynamic Graphs", *Applied Sciences*, Vol. 15, No. 21. DOI: <https://doi.org/10.3390/app152111354>
17. Fan, W., Wu, Y., Xu, J. (2016), "Functional dependencies for graphs", *Proceedings of the 2016 International Conference on Management of Data (SIGMOD)*, P. 1843–1857. DOI: <https://doi.org/10.1145/2882903.2915232>
18. Wenfei, F., Chunming, H., Xueli, L., Ping, L., (2020), "Discovering Graph Functional Dependencies", *ACM Transactions on Database Systems*, Vol. 45. DOI: <https://doi.org/10.1145/3397198>

Received (Надійшла) 09.02.2026

Accepted for publication (Прийнята до друку) 02.03.2026

Publication date (Дата публікації) 12.03.2026

*Відомості про авторів / About the Authors*

**Пилипенко Андрій Геннадійович** – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри електронних обчислювальних машин; Харків, Україна;

**Andrii Pylypenko** – Kharkiv National University of Radio Electronics, Postgraduate Student of Electronic Computers Department; Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [andrii.pylypenko@nure.ua](mailto:andrii.pylypenko@nure.ua)

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-2861-7906>

## MODEL OF DYNAMIC ACTIVATION OF CORRELATION RELATIONS IN ONTOLOGICAL GRAPHS WHEN PROCESSING HETEROGENEOUS DATA

*Subject of the study* is the processes of interpreting structural dependencies in corporate ontological graphs when processing heterogeneous data (textual news and quantitative technical signals). The paper considers the transition from a static interpretation of the knowledge graph as a fixed set of connections to a dynamic model, where structural relations act as a space of potential correlations. The **goal** of the article is to form a conceptual and formalized model of conditional activation of dependencies in corporate ontological graphs, which allows separating stable topological connections from their situational influence in a specific time context. The **research tasks** include: formalization of the structural layer of the graph as a system of potential dependencies; determination of the criteria and activation function for the transition of the dependency to the active state; development of a mechanism for integrating event signals as activation triggers; algorithmic implementation of the model in intelligent decision-making support systems. The **research methods** are based on graph theory, ontological modeling, and semantic reasoning. The procedural implementation of the model is carried out within a multi-agent pipeline using large language models (LLM agents) to interpret news sentiment and aggregate heterogeneous features without parametric learning. The **results** of empirical testing conducted in the forward-only mode confirmed the effectiveness of the model. In the close→close mode, the use of the graph context provided an increase in cumulative profitability from +3.58% to +13.42%, which indicates a stable signal amplification effect. In the close→open mode, the maximum result of +19.80% was obtained, which demonstrates the dominant role of the news-semantic component in the night mode under the corrective influence of the graph structure. **Conclusions.** The proposed model allows eliminating the incorrect identification of the presence of a structural connection with the actual impact. It is established that the integration of a formalized activation mechanism (based on the structural path to 2-hop, relevant signal, and temporal validity) provides a systematic improvement in the quality of predictions in heterogeneous data processing problems.

**Keywords:** activation model; knowledge graph; heterogeneous data; LLM agents; information systems; decision making.

### *Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions*

Пилипенко А. Г. Модель динамічної активації кореляційних зв'язків в онтологічних графах в умовах опрацювання різномірних даних. *Автоматизовані системи управління та прилади автоматики*. 2026. № 1 (188). С. 69–77. DOI: <https://doi.org/10.30837/0135-1710.2026.188.069>

Pylypenko, A. (2026), "Model of dynamic activation of correlation relations in ontological graphs when processing heterogeneous data", *Management Information System and Devices*, No. 1 (188), P. 69–77. DOI: <https://doi.org/10.30837/0135-1710.2026.188.069>

---