

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря СІКОРСЬКОГО»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ

Кафедра математичного моделювання та аналізу даних

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Іван ТЕРЕЩЕНКО

«___» _____ 2023 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності: 113 Прикладна математика

на тему: «**Рефлексивна модель поведінки груп суспільства
під дією інформаційного впливу на внутрішню валюту**»

Виконав: студент 4 курсу, групи ФІ-91
Горбачов Дмитро Олександрович

Керівник: доцент, к.ф-м.н Терещенко І.М.

Рецензент: професор, д.т.н, с.н.с Кудін А.М.

Засвідчую, що у цій дипломній
роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря СІКОРСЬКОГО»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ

Кафедра математичного моделювання та аналізу даних

Рівень вищої освіти — перший (бакалаврський)
Спеціальність (освітня програма) — 113 Прикладна математика,
ОПП «Математичні методи моделювання, розпізнавання образів та
комп'ютерного зору»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Іван ТЕРЕЩЕНКО

«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу

Студент: Горбачов Дмитро Олександрович

1. Тема роботи: *«Рефлексивна модель поведінки груп суспільства
під дією інформаційного впливу на внутрішню валюту»,*

керівник: доцент, к.ф.-м.н Терещенко І.М.,

затверджені наказом по університету №__ від «__» _____ 2023 р.

2. Термін подання студентом роботи: «__» _____ 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: *опубліковані джерела за тематикою
дослідження.*

4. Зміст роботи: *досліджуючи поведінку певної множини активних
агентів, які намагаються подіяти на дві групи суспільства з різною
реакцією на інформаційний вплив, з урахуванням того, що під впливом
пасивні агенти перетворюються в активних, побудовано рефлексивну
математичну модель взаємодії різних груп агентів, в якій основним
фактором при аналізі інформаційного впливу активних агентів на
пасивних було взято внутрішню валюту.*

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів,
презентацій тощо): *презентація доповіді.*

6. Дата видачі завдання: 15 листопада 2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання	Примітка
1	Узгодження теми роботи із науковим керівником	15-30 листопада 2022 р.	Виконано
2	Огляд опублікованих джерел за тематикою дослідження	Листопад-Грудень 2022 р.	Виконано
3	Побудова математичної моделі	Січень-лютий 2023 р.	Виконано
4	Розробка двоетапної процедури перерахунку кількостей агентів	15 січня - 10 лютого 2023 р.	Виконано
5	Еволюція моделі в часі	Лютий 2023 р.	Виконано
6	Програмна реалізація моделі	Березень 2023 р.	Виконано
7	Корегування параметрів моделі	15 - 30 березня 2023 р.	Виконано
8	Обробка результатів	10 - 20 квітня 2023 р.	Виконано
9	Дослідження існуючих моделей	10 - 20 травня 2023 р.	Виконано
10	Оформлення дипломної роботи	Травень 2023 р.	Виконано

Студент

_____ Горбачов Д.О.

Керівник

_____ Терещенко І.М.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить: 50 стор., 31 рисунки, 1 таблиць, 7 джерел.

Мета роботи полягає у створенні рефлексивної моделі інформаційного впливу на різні групи суспільства. Об'єктом дослідження буде виступати реакція пасивних агентів на інформаційний вплив, через яку вони перетворюються на активних агентів. Тоді інформаційний вплив, який завдають активні агенти – це предмет дослідження.

В ході дослідження було створено рефлексивну модель суспільної поведінки в умовах інформаційного впливу, засновану на внутрішній валюті, враховуючи можливість задавати вплив через перший ранг рефлексії. Розроблена модель є рефлексивною в силу аналізу робіт попередників. Виконано оптимізацію функції впливу. Результати роботи наведені у вигляді графіків з аналізом отриманої поведінки агентів. Для подальшого розвитку моделі наведені ідеї її вдосконалення й поліпшення.

РЕФЛЕКСИВНА ГРА, ВНУТРІШНЯ ВАЛЮТА,
ІНФОРМАЦІЙНИЙ ВПЛИВ, АГЕНТИ ВПЛИВУ

ABSTRACT

Qualification work contains: 50 pages, 31 figures, 1 tables, 7 sources.

The purpose of the work is to create a reflexive model information influence on different groups of society. The object of research there will be a reaction of passive agents to informational influence, through which they turn into active agents. Then informative the impact of active agents is the subject of research.

In the course of the research, a reflexive model of social was created behavior in conditions of information influence, based on internal currency, taking into account the ability to set influence through the first rank reflections The developed model is reflexive due to the analysis of robots predecessors The influence function has been optimized. Work results given in the form of graphs with an analysis of the obtained behavior of the agents. For further development of the model, ideas for its improvement and improvement are given.

REFLEXIVE GAME, INTERNAL CURRENCY, INFORMATION
INFLUENCE, AGENTS OF INFLUENCE

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Теоретичне обґрунтування майбутньої моделі	10
1.1 Перші визначення.....	10
1.2 Інформаційне керування	11
1.3 Приклад існуючої ігрової моделі.....	12
1.4 Приклад існуючої неігрової моделі	13
Висновки до розділу 1.....	14
2 Побудова математичної моделі.....	15
2.1 Опис множин агентів.....	15
2.2 Внутрішня валюта	15
2.3 Структура внутрішньої валюти й задача моделі.....	16
2.4 Обрахунок внутрішньої валюти	16
2.5 Пороги внутрішньої валюти	17
2.6 Кількості агентів, які піддалися впливу	18
2.7 Кількість агентів, які завдають вплив	18
2.8 Перерахунок кількостей агентів через інформаційний вплив ...	19
Висновки до розділу 2.....	20
3 Результати чисельного експерименту.....	21
3.1 Параметри внутрішньої валюти.....	21
3.2 Інші параметри моделі	22
3.3 Поведінка агентів групи θ_3	23
3.4 Найгірший результат	25
3.5 Посередні результати.....	29
3.6 Найкращий результат	37
Висновки до розділу 3.....	40
Висновки	41
Перелік посилань	42
Додаток А Тексти програм.....	43

А.1 Програма 1	43 ⁷
Додаток Б Великі рисунки та таблиці	50

ВСТУП

Актуальність дослідження. Актуальність даного дослідження полягає у тому, що саме зараз відбувається інформаційна війна. Щоб запобігти поширенню інформаційного впливу, потрібно знати, як він поширюється в суспільстві. Саме ці знання – результат даного дослідження.

Останнім часом відчувається серйозний вплив на поведінку та думки різних груп суспільства внаслідок різних несприятливих обставин, спричинених війною. Люди, керуючись своїми внутрішніми уявленнями, намагаються знайти відповіді на важливі для них життєві питання. Крім того, думка оточення може впливати на вибір підсвідомо, а іноді приводить до відмови вибирати саме через вплив оточення. Тому необхідно знати, як поширюється інформаційний вплив, щоб краще йому протидіяти.

Метою дослідження є визначити, як поширюється інформований вплив в суспільстві. Для досягнення мети необхідно розв'язати **задачу дослідження**, яка полягає у створенні рефлексивної моделі інформаційного впливу на різні групи суспільства. Для розв'язання задачі необхідно вирішити такі завдання:

- 1) провести огляд опублікованих джерел за тематикою дослідження;
- 2) проаналізувати існуючі моделі;
- 3) запрограмувати модель;
- 4) скорегувати параметри моделі;
- 5) обробити результати.

Об'єктом дослідження є інформаційний вплив, який задають активні агенти.

Предметом дослідження є рефлексія пасивних агентів на інформаційний вплив, що перетворює їх на активних агентів.

При розв'язанні поставлених завдань використовувались такі *методи*

дослідження: теорія ігор, рефлексія, інформаційна рефлексія, рефлексивні ігри.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що було реалізовано рефлексивну модель суспільства в умовах інформаційного впливу, використовуючи порогові функції, засновані на значення внутрішньої валюти.

Практичне значення результатів полягає в тому, що реалізація моделі в числовому експерименті дозволяє побачити поведінку різних груп агентів в умовах інформаційного впливу.

Апробація результатів та публікації.

Частина даної роботи була представлена на «Theoretical and Applied Cybersecurity» (TACS-2023) (26 травня 2023 р., м. Київ) та XXI Науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики» (11 – 12 травня 2023 р., м. Київ).

1 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МАЙБУТНЬОЇ МОДЕЛІ

У першому розділі наступної роботи буде розібрано теоритичне підґрунття для створення математичної моделі суспільної поведінки в умовах інформаційного впливу. Буде наведено теорія інформаційної та звичайної рефлексії й аналіз існуючих моделей інформаційного керування.

1.1 Перші визначення

Почнемо з декількох означень [1]:

Означення 1.1. Рефлексія – розбіжність між природною реальністю й її сприйняттям людиною.

Означення 1.2. Гра – взаємодія сторін, інтереси яких не співпадають. Суб'єкта, який приймає рішення, будемо називати агент.

Означення 1.3. Інформаційна рефлексія – процес і результат міркувань агента про те, які значення невизначених параметрів та що про ці значення знають його опоненти.

Знання значень невизначених параметрів й що про ці значень знають опоненти будемо називати інформованністю агента. Тоді виникають наступні випадки:

- 1) Агент знає всі параметри й всі знання опонентів – повністю інформований;
- 2) Агент знає не всі, чи зовсім не знає про невизначенні параметри й знання про них опонентів – частково інформований.

Означення 1.4. Рефлексивна гра – така гра, в якій існує хоча б один агент, який не є повністю інформований.

1.2 Інформаційне керування

Розберемо структуру рефлексії агентів, які беруть участь в рефлексивній грі.

Означення 1.5. Рефлексія першого рангу – рефлексія агента відносно себе чи свого опонента.

Як приклад можна навести наступні питання, які собі задає агент:

- Що я думаю про...?
- Що він думає про...?

Рекурентно можна підвищувати ранг:

Означення 1.6. Рефлексія рангу $n + 1$ – рефлексія агента відносно своєї чи свого опонента рефлексії рангу n .

Тоді і питання перетворюються на наступні:

- Що я думаю про те, що я...?
- Що я думаю про те, що він...?
- Що він думає про те, що я...?
- Що він думає про те, що він...?
- і так далі...

І це лише приклади на двох агентах, комбінувати можна й далі й на більшій кількості. З'являється логічне питання – коли треба завершувати занурення в наступні ранги рефлексії? Це напряду залежить від розв'язуємої задачі.

В ситуації рефлексивної гри агентів, які не є повністю інформованими будемо називати пасивними. Тоді активні агенти – повністю інформовані.



Рисунок 1.1 – Схема інформаційного керування

На схемі (рис. 1.1) бачимо, як відбувається інформаційне керування:

- 1) Активні агенти здійснюють інформаційний вплив на пасивних;
- 2) За рахунок впливу змінюється інформованість пасивних агентів;
- 3) Змінена інформованість визначає дію агентів;
- 4) Активні агенти бачуть реальну картину, пасивні нав'язану їм.

Великим спрощенням моделей інформаційного й прихованого керування є те, що максимальний ранг рефлексії не перевищує другий. Тобто інформаційний вплив здійснюється, щоб подіяти на уявлення пасивного агента про уявлення активного (перший ранг) чи на уявлення пасивного агента про уявлення активного про його уявлення (другий ранг).

1.3 Приклад існуючої ігрової моделі

Розглянемо існуючу модель інформаційного впливу представлену в роботі [2]. Автор моделює поведінку агентів під впливом контекстної реклами. Учасниками гри є наступні агенти:

- 1) рекламодавець;
- 2) його конкурент;
- 3) клієнт;
- 4) зловмисник;
- 5) інші задіяні в процесі контекстної реклами.

За умовами задачі гра не є рефлексивною, бо всі агенти повністю інформовані. В такому випадку має місце рівновага Неша (оптимальний для всіх гравців розв'язок), але так як система є динамічною використовується локально-стійка рівновага. Визначається умова рівноваги й загальний вигляд функцій виграшу гравців, що й являє собою модель, яка розв'язує поставлену задачу.

1.4 Приклад існуючої неігрової моделі

Розглянемо існуючу ймовірнісну модель інформаційного впливу представлену в роботі [3]. Автори розглядають різні джерела впливу:

- 1) друковані ЗМІ;
- 2) телебачення;
- 3) інтернет;
- 4) радіо;
- 5) інші інформаційні канали.

Описані різні ознаки групи соціуму:

- 1) ставлення керівництва;
- 2) регіон, де працюють;
- 3) проблеми колективу;
- 4) інші ознаки.

На основі джерела впливу, враховуючи ознаки групи соціуму пропонується процедура обчислення кількості осіб, на яку ймовірно буде проведений інформаційний вплив, використовуючи експоненційний закон розподілу стійкості елементів соціуму.

Наводять числові експерименти для різних параметрів моделі,

знаходячи точку біфуркації – перехід до нестійкого стану системи. Запропоновану модель пропонують використовувати при побудові систем комплексного захисту інформації.

Завершу огляд існуючих робіт думками про різновид моделей керування, які наводяться в роботі [4].

Успіх рефлексивного керування дуже залежить від якості моделі суб'єкта, яка використовується під час його проведення. Психологічні моделі, засновані на традиційних біхевіористських і навіть психоаналітичних поняттях, виявилися мало ефективними. Річ у тім, що модель суб'єкта має відображати не тільки область його поведінки, а й його здатність усвідомлювати самого себе та інших суб'єктів, включаючи і тих, які намагаються встановити контроль за його поведінкою, тобто модель має бути рефлексивною, наприклад, моделі [5]. Традиційні моделі цю якість не мали.

Висновки до розділу 1

У першому розділі були наведені основні означення й поняття рефлексії та теорії ігор для подальшого опису математичних моделей. Задана схема задання інформаційного впливу, визначено на що потрібно діяти активним агентам, аби втілювати інформаційне керування. Наведені приклади різних вже існуючих математичних моделей інформаційного впливу.

У наступному розділі буде будуватися рефлексивна модель поведінки суспільства під дією інформаційного впливу, зважаючи на недоліки й пропозиції у вже існуючих моделях.

2 ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

У другому розділі наступної роботи буде побудована математична модель поведінки різних груп суспільства в умовах інформаційного впливу. Основою розробленої моделі буде реакція пасивних агентів на інформаційний вплив, через яку вони будуть перетворюватися на активних. Будуть використані ідеї теорії ігор, а саме рефлексивних ігор з першим рангом рефлексії, проявами яких буде виступати внутрішня валюта й специфіка її обчислення.

2.1 Опис множин агентів

Нехай маємо три групи агентів $\theta_1, \theta_2, \theta_3$.

- θ_1 – активні агенти;
- θ_2 – пасивні агенти;
- θ_3 – пасивні агенти, які мають певне обмеження в вигляді порогу,

щодо впливу.

Загальна кількість агентів $N = N_1 + N_2 + N_3$, де N_i – кількість агентів з множини θ_i . Крім того активні агенти мають можливість тричі завдавати вплив, тож формально вважатимемо їхню кількість збільшеною в три рази від фактичної, тобто $3N_1$.

2.2 Внутрішня валюта

В якості регулятора діяльності активних агентів буде виступати числова характеристика цінностей агента, яку називають внутрішня валюта. Це поняття вперше введено Лефевром в роботі [4].

Будемо розглядати інформаційний вплив, який задають агенти групи

θ_1 на агентів з груп θ_2 і θ_3 з точки зору внутрішніх валют:

$$H^{\theta_i} = \sum_j \alpha_{ij} A_{ij} + \sum_k \beta_{ik} B_{ik}, i = 2, 3, \text{ де}$$

H^{θ_i} – внутрішня валюта i -тої групи агентів

A_{ij} – j -тий номінальний виграш i -тої групи агентів

α_{ij} – міра значущості A_{ij}

B_{ik} – k -тий номінальний виграш інших агентів з точки зору θ_i

β_{ik} – міра значущості B_{ik}

Таке обчислення запропоноване в статті [6]

2.3 Структура внутрішньої валюти й задача моделі

Розберемо структуру внутрішньої валюти:

Перший набір доданків $\sum_j \alpha_{ij} A_{ij}$ це своє бачення ситуації чи реакція на інформацію, які залежать від внутрішніх представлень людини і є фіксованим.

Другий набір доданків $\sum_k \beta_{ik} B_{ik}$ це відображення зовнішнього впливу на бачення ситуації чи реакції на інформацію людиною. Цей набір доданків зумовлений першим рангом рефлексії.

Тоді задачею майбутньої моделі буде використовуючи перший ранг рефлексії й відповідну складову внутрішньої валюти реалізувати й оптимізувати інформаційний вплив активних агентів на пасивних, враховуючи реакцію на інформаційний вплив, через яку пасивні агенти перетворюються на активних.

2.4 Обрахунок внутрішньої валюти

Перший доданок $\sum_j \alpha_{ij} A_{ij}$ в силу своєї фіксованості перепозначимо $a_i = \text{const}$.

Будемо вважати, що міра значущості β_{ik} залежить від x_t – суми кількості агентів, що завдали вплив у випадку дії агентів з множини θ_1 і кількості тих, хто піддався впливу у випадку представників множин θ_2 і θ_3 на момент часу t .

Таким чином пропонується наступне обчислення внутрішньої валюти, яке відповідає змінам цінностей агентів під інформаційним впливом:

$$H^{\theta_i} = a_i + b_i \beta_i(x_t), i = 2, 3, \text{ де}$$

a_i – зацікавленість інформацією і-тої групи агентів

b_i – максимально можлива зацікавленість, яку можуть нав'язати агентам і-тої групи

Пропонується в якості $\beta_i(x_t)$ взяти наступне:

$$\beta_i(x_t) = \begin{cases} \sin \frac{\pi x_t}{N_i}, & x_t < N_i \\ 0, & x_t \geq N_i \end{cases}$$

Обрахунок внутрішньої валюти наступним чином дозволяє легко отримати $H_{min}^{\theta_i} = a_i, H_{max}^{\theta_i} = a_i + b_i$.

2.5 Пороги внутрішньої валюти

Для регуляції інформаційного впливу будемо використовувати пороги, засновані на значеннях внутрішньої валюти. Знаючи $H_{max}^{\theta_2}, H_{max}^{\theta_3}$ побудуємо пороги внутрішньої валюти $h^{\theta_i} = \{h_1^{\theta_i}, h_2^{\theta_i}, \dots, h_l^{\theta_i}\}, i = 2, 3$.

Відповідно отримуємо умови потрапляння в пороги:

$$\begin{aligned} H^{\theta_i} &< h_1^{\theta_i} \\ h_1^{\theta_i} &\leq H^{\theta_i} < h_2^{\theta_i} \\ &\dots \\ h_l^{\theta_i} &\leq H^{\theta_i} \end{aligned}$$

Враховуючи дослідження в [7] було взято наступні порогові значення щодо впливу на членів суспільства:

$$\begin{aligned} h^{\theta_2} &= \{0.3H_{max}^{\theta_2}, 0.55H_{max}^{\theta_2}\} \\ h^{\theta_3} &= \{0.3H_{max}^{\theta_3}, 0.4H_{max}^{\theta_3}\} \end{aligned}$$

2.6 Кількості агентів, які піддалися впливу

Введемо $x_t^i, i = 2, 3$ – функції кількості тих, хто піддалися впливу на момент часу t . В якості x_t^2 будемо розглядати:

$$x_t^2(n) = \begin{cases} \left\lfloor \frac{n}{5} \right\rfloor, & H^{\theta_2} < 0.3H_{max}^{\theta_2} \\ 2 \left\lfloor \frac{n}{3} \right\rfloor, & 0.3H_{max}^{\theta_2} \leq H^{\theta_2} < 0.55H_{max}^{\theta_2} \\ 3n, & 0.55H_{max}^{\theta_2} \leq H^{\theta_2} \end{cases}$$

В якості x_t^3 будемо розглядати:

$$x_t^3(n) = \begin{cases} \left\lfloor \frac{n}{5} \right\rfloor, & H^{\theta_3} < 0.3H_{max}^{\theta_3} \\ 2 \left\lfloor \frac{n}{3} \right\rfloor, & 0.3H_{max}^{\theta_3} \leq H^{\theta_3} < 0.4H_{max}^{\theta_3} \\ 0, & 0.4H_{max}^{\theta_3} \leq H^{\theta_3} \end{cases}$$

Третій випадок x_t^3 відповідає порогу обмеженості щодо впливу агентів θ_3 , тобто коли внутрішня валюта $H^{\theta_3} \leq 0.4H_{max}^{\theta_3}$ агенти з θ_3 не піддаються впливу.

2.7 Кількість агентів, які завдають вплив

Введемо x_t^1 – функцію кількості тих, хто завдає вплив на момент часу t .

$$x_t^1(t_0, n_1, n_2) = \begin{cases} n_1, t \leq t_0 \\ n_2, t > t_0 \end{cases}, \text{ де}$$

n_1 - кількість членів групи впливу до піка впливу;

n_2 - кількість членів групи впливу під час піка впливу;

t_0 - прогнозований час початку піка впливу.

Активні агенти діють фіксованими групами впливу: спочатку, до прогнозованого часу піка - маленькими, після прогнозованого початку піка - більшими. Така поведінка зумовлена максимізацією завдаваного впливу.

Розміри груп впливу вибираються наступним чином:

- 1) n_1 - достатньо велике, щоб якнайшвидше дійти до піка впливу;
- 2) n_2 - більше n_1 й наближається до ідеального значення;
- 3) ідеальне $n_2 = \frac{3N_1 - n_1 \cdot t_0}{\Delta t_0}$, Δt_0 - тривалість піка впливу.

2.8 Перерахунок кількостей агентів через інформаційний

ВЛПИВ

Введемо $k_i(t)$ - поточна кількість агентів групи θ_i . Тоді логічно обчислювати $k_1(t)$ наступним чином:

$$k_1(t+1) = k_1(t) - x^1(t), k_1(0) = 3N_1$$

Розрахунок $k_2(t)$ та $k_3(t)$ будемо проводити в два етапи:

- 1) відняти кількість, яка піддалася впливу через $x^1(t)$;
- 2) відняти кількість, яка піддалася впливу через кількість, яка піддалася впливу через $x^1(t)$.

Таку вкладеність можна робити й далі, але ми зупинимося на двоетапній точності. Відповідно отримуємо формули для $k_2(t)$ та $k_3(t)$,

при початкових умовах $k_2(0) = N_2$, $k_3(0) = N_3$:

$$k_2(t+1) = k_2(t) - x_t^2(x^1(t)) - x_t^2(x_t^2(x^1(t)) + x_t^3(x^1(t)))$$

$$k_3(t+1) = k_3(t) - x_t^3(x^1(t)) - x_t^3(x_t^2(x^1(t)) + x_t^3(x^1(t)))$$

Тоді $x(t)$ – кількість агентів, які піддалися впливу в момент часу t :

$$\begin{aligned} x(t) = & x^1(t) + x_t^2(x^1(t)) + x_t^3(x^1(t)) + x_t^2(x_t^2(x^1(t)) + \\ & + x_t^3(x^1(t))) + x_t^3(x_t^2(x^1(t)) + x_t^3(x^1(t))) \end{aligned}$$

Повністю визначивши ітераційну процедуру завершуємо побудову моделі. Тепер можемо переходити до застосування моделі на реальних числах – до чисельних експериментів.

Висновки до розділу 2

Було розроблено рефлексивну модель, яка заснована на першому рангу рефлексії й відповідає поставленій задачі – кількісне визначення наслідків інформаційного впливу, який завдають активні агенти на пасивних, зважаючи на те, що під впливом пасивні перетворюються на активних. Оптимізація впливу виконана через додавання трьох параметрів до функції кількості тих, хто завдає вплив.

В наступному розділі будуть наведені результати чисельного експерименту, на основі яких буде підтверджена відподність розробленої моделі поставленій задачі.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

У третьому розділі наступної роботи будуть представлені результати, отримані при виконанні різних чисельних експериментів з виведеної в попередньому розділі математичної моделі. Також буде наведена візуалізація й обробка отриманих результатів. Аналіз роботи моделі й буде завершувати цю роботу. Нумерація експериментів буде наступною: кількість агентів θ_1 – кількість агентів θ_3 , тобто N_1-N_3 . Оцінювати роботу моделі будемо за ефективністю, яка обраховуватиметься як частка кількості агентів, які піддалися впливу й їх початкову загальну кількість.

3.1 Параметри внутрішньої валюти

За різних параметрах моделі можна отримати зовсім різні результати. Розглянемо набір параметрів a_2, b_2, a_3, b_3 для обчислення внутрішніх валют. Залежно від прийнятих ними значень змінюються $H_{max}^{\theta_2} = a_2 + b_2, H_{max}^{\theta_3} = a_3 + b_3$ в наслідок чого змінюються значення порогів:

$$h^{\theta_2} = \{0.3H_{max}^{\theta_2}, 0.55H_{max}^{\theta_2}\}$$

$$h^{\theta_3} = \{0.3H_{max}^{\theta_3}, 0.4H_{max}^{\theta_3}\}$$

Так маючи ці чотири порогові значення розташуємо їх в порядку зростання, отримуючі відповідні умови:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.3H_{max}^{\theta_2} < 0.55H_{max}^{\theta_2} \leq 0.3H_{max}^{\theta_3} < 0.4H_{max}^{\theta_3}, \quad H_{max}^{\theta_2} \leq \frac{6}{11}H_{max}^{\theta_3} \\ 0.3H_{max}^{\theta_2} \leq 0.3H_{max}^{\theta_3} < 0.55H_{max}^{\theta_2} \leq 0.4H_{max}^{\theta_3}, \quad \frac{6}{11}H_{max}^{\theta_3} < H_{max}^{\theta_2} \leq \frac{8}{11}H_{max}^{\theta_3} \\ 0.3H_{max}^{\theta_2} \leq 0.3H_{max}^{\theta_3} < 0.4H_{max}^{\theta_3} < 0.55H_{max}^{\theta_2}, \quad \frac{8}{11}H_{max}^{\theta_3} < H_{max}^{\theta_2} \leq H_{max}^{\theta_3} \\ 0.3H_{max}^{\theta_3} < 0.4H_{max}^{\theta_3} \leq 0.3H_{max}^{\theta_2} < 0.55H_{max}^{\theta_2}, \quad H_{max}^{\theta_3} \leq \frac{3}{4}H_{max}^{\theta_2} \\ 0.3H_{max}^{\theta_3} \leq 0.3H_{max}^{\theta_2} < 0.4H_{max}^{\theta_3} \leq 0.55H_{max}^{\theta_2}, \quad \frac{3}{4}H_{max}^{\theta_2} < H_{max}^{\theta_3} \leq H_{max}^{\theta_2} \end{array} \right.$$

Ці п'ять випадків й породжують п'ять різних поведінок, зумовлених різними значеннями зацікавленості інформацією й максимально можливої зацікавленості, яку можуть нав'язати агентам.

Приклад використовуємих відповідних наборів параметрів:

- Ситуація 1: $a_2 = 2, b_2 = 30, a_3 = 1, b_3 = 70$
- Ситуація 2: $a_2 = 2, b_2 = 40, a_3 = 1, b_3 = 70$
- Ситуація 3: $a_2 = 2, b_2 = 50, a_3 = 1, b_3 = 70$
- Ситуація 4: $a_2 = 12, b_2 = 60, a_3 = 1, b_3 = 50$
- Ситуація 5: $a_2 = 12, b_2 = 60, a_3 = 1, b_3 = 70$

Ситуація 3 найгірша з точки зору ефективності інформаційного впливу, бо мала зацікавленість агентів групи θ_2 відносно максимально можливої зацікавленості, яку їм можуть нав'язати. Тоді ситуація 5 – найкраща. Ці дві ситуації й будуть розглядатися в подальшому чисельному експерименту.

3.2 Інші параметри моделі

Загальна кількість агентів $N = N_1 + N_2 + N_3 = 10000$. Для зручності $N_2 = 10000 - N_1 - N_3$. В якості кількостей N_1 й N_3 будемо розглядати наступні набори:

$$N_1 = \{0.03N, 0.04N, 0.05N\}, N_3 = \{0.05N, 0.1N, 0.15N\}.$$

Так і отримуємо дев'ять експериментів. В усіх в якості функції

кількості агентів, що завдають впливу будемо використовувати наступне:

$$x_t^1(t_0, n_1, n_2) = \begin{cases} 0.04N_1, t \leq 45 \\ \frac{3N_1 - 0.04N_1 \cdot 45}{12}, t > 45 \end{cases}$$

Відповідно прогнозований час початку піка $t_0 = 45$, його тривалість $\Delta t_0 = 12$, n_1 й n_2 вибрано наступним чином: за час до початку $t_0 = 45$ буде задіяно $n_1 \cdot t_0 = 0.04N_1 \cdot 45 = 1.8N_1$, так як агенти мають можливість тричі завдавати вплив, формально їх кількість $3N_1$, тоді до початку буде задіяно $\frac{1.8N_1}{3N_1} = 60\%$ й відповідно після прогнозованого часу піка 40% агентів θ_1 . Відповідно для $N_1 = \{0.03N, 0.04N, 0.05N\}$ отримуємо наступні кількості n_1 й n_2 :

$$n_1 = \{12, 16, 20\}, n_2 = \{30, 40, 50\}.$$

3.3 Поведінка агентів групи θ_3

Задана групі θ_3 поведінка – виходити з гри при достатньо масованому впливі є незмінною для всіх експериментів. Проаналізуємо графіки, як відображення цієї поведінки.

На графіках (рис. 3.1), (рис. 3.2), (рис. 3.3) бачимо зазначену однакову поведінку для різних початкових кількостей агентів групи θ_3 : лише декілька перших ітерацій і лише мала частина агентів приймає участь у грі. Ця поведінка зумовлена змінами їх внутрішньої валюти (рис. 3.4).

Може здаватися, що вклад в інформаційний вплив агентів групи θ_3 малий, що співпадає з реальністю, але не можна його зовсім ігнорувати, цей вплив пришвидшує розповсюдження впливу серед агентів групи θ_2 хоч і не так сильно, як самі агенти θ_2 й активні агенти θ_1 .

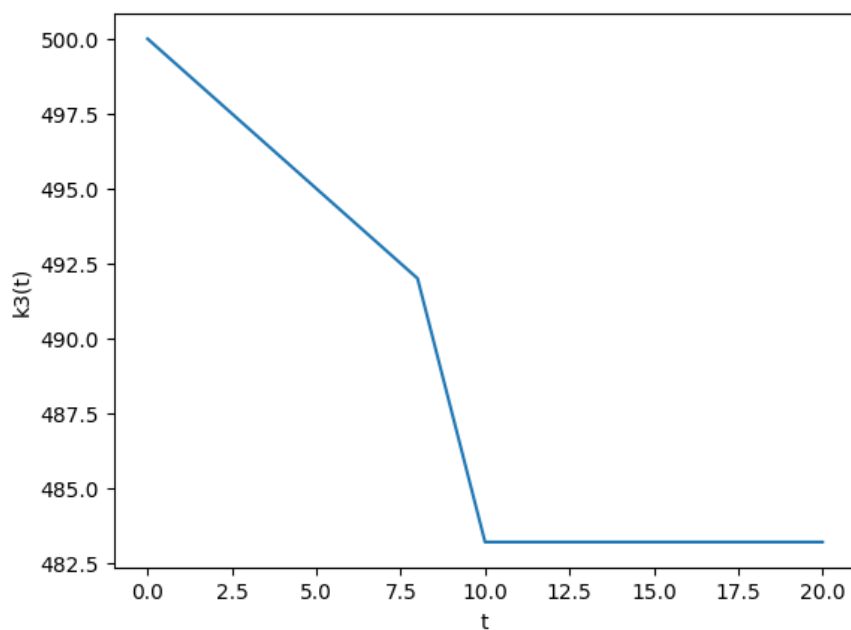


Рисунок 3.1 – Кількість залишився агентів групи θ_3 від часу.

Початкова кількість 300.

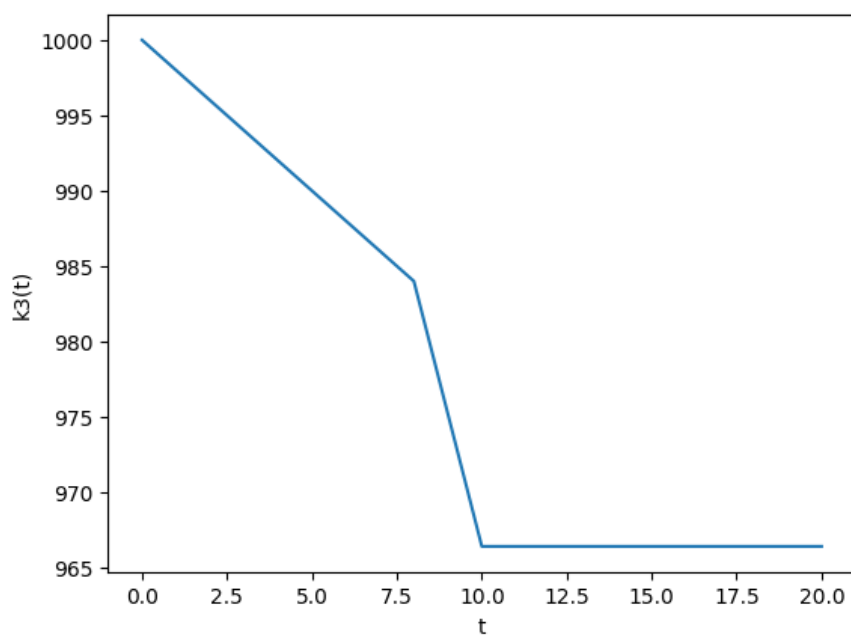


Рисунок 3.2 – Кількість залишився агентів групи θ_3 від часу.

Початкова кількість 400.

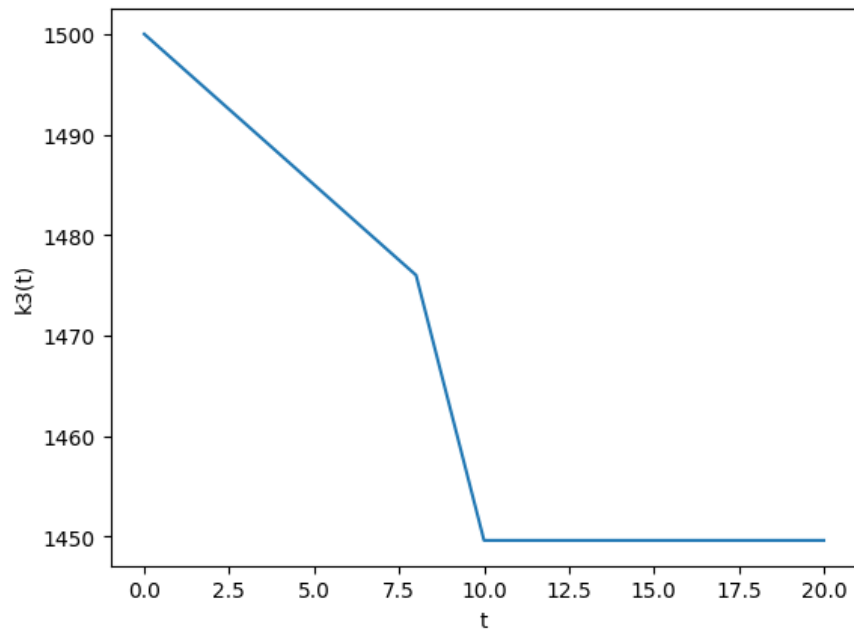


Рисунок 3.3 – Кількість залишився агентів групи θ_3 від часу.

Початкова кількість 500.

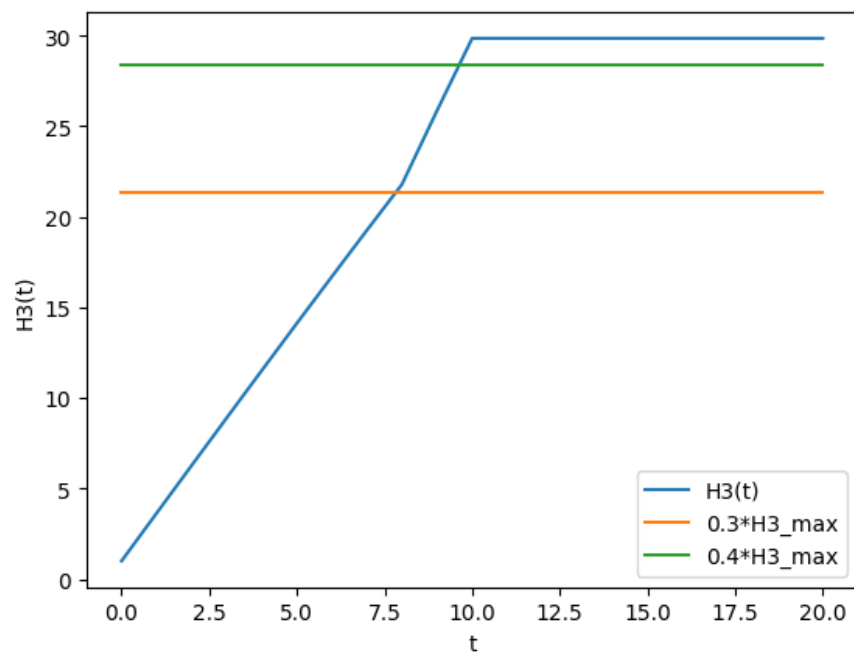


Рисунок 3.4 – Внутрішня валюти агентів групи θ_3 від часу.

3.4 Найгірший результат

Огляд результатів почнемо з найгіршого. Найгірше модель показала себе в експерименті 300–500. Розберемо поведінку агентів при

інформаційному впливі за графіками. Найгірша ситуація буде під номером 1, найкраща – 2.

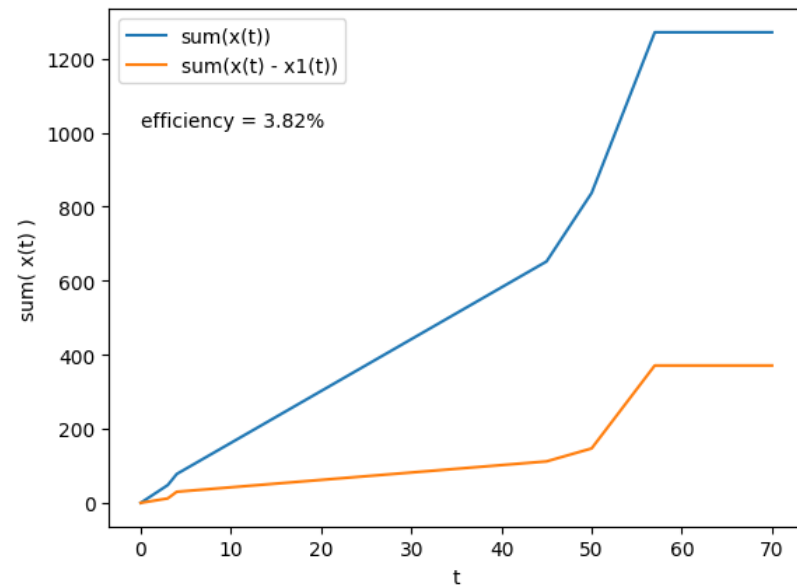


Рисунок 3.5 – Сумарні кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 1, параметри 300–500.

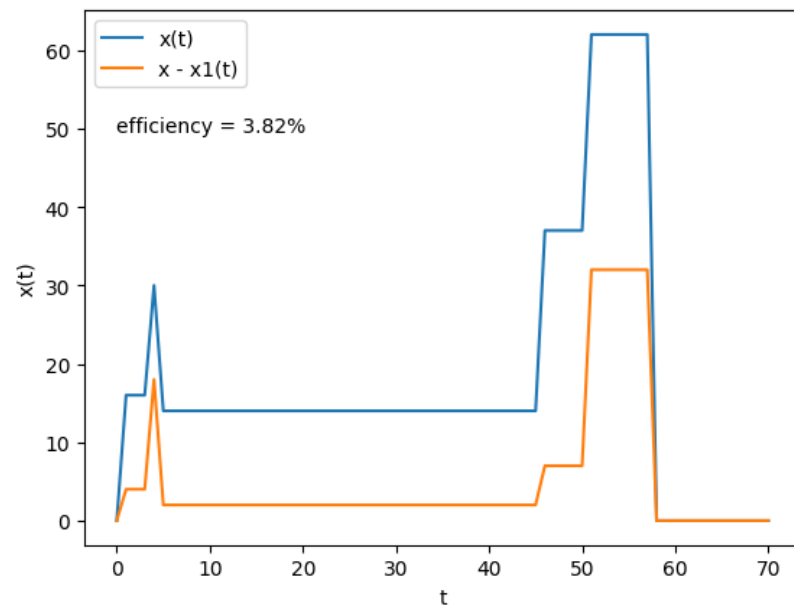


Рисунок 3.6 – Кількість агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 1, параметри 300–500.

Ситуація 1: на графіках бачимо, як змінювалась кількість агентів, які піддалися впливу (рис. 3.5) й як цей вплив задавався ітераційно (рис. 3.6). На (рис. 3.6) помаранчева лінія – кількість агентів, які піддалися впливу, синя – кількість агентів, які піддалися впливу плюс агенти впливу. Роботу агентів впливу можна побачити як різницю між значеннями ліній. Ефективність завданого впливу можна побачити на обидвох графіках чи навіть легко порахувати за допомогою (рис. 3.5), як максимальне значення помаранчевою лінію поділити на кількість пасивних агентів в експерименті. Ефективність дуже мала, тому що при таких параметрах виникла ситуація, в якій, як можна побачити на графіку (рис. 3.7), внутрішня валюта агентів групи θ_2 не перетнула другу межу.

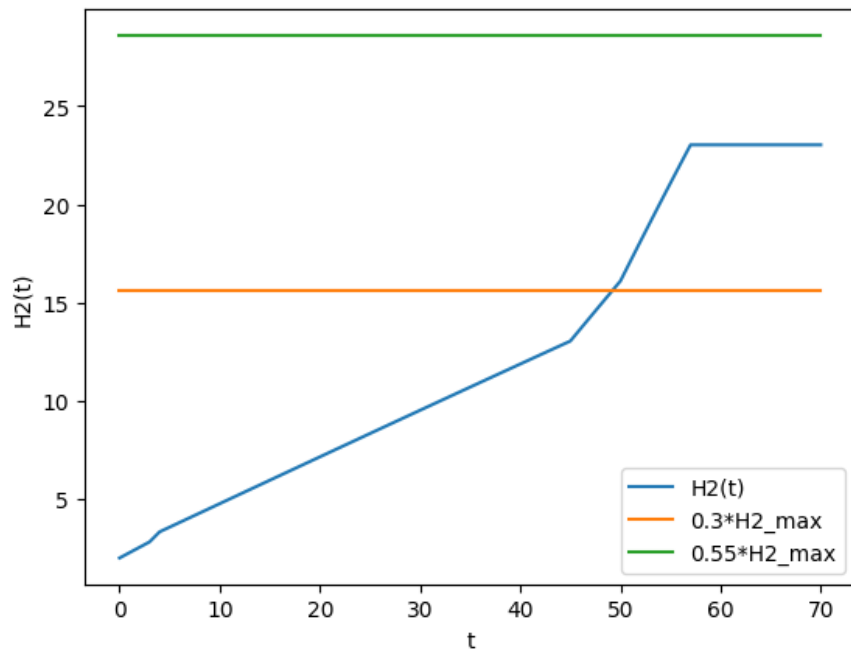


Рисунок 3.7 – Залежність внутрішньої валюти агентів групи θ_2 від часу. Ситуація 1, параметри 300–500.

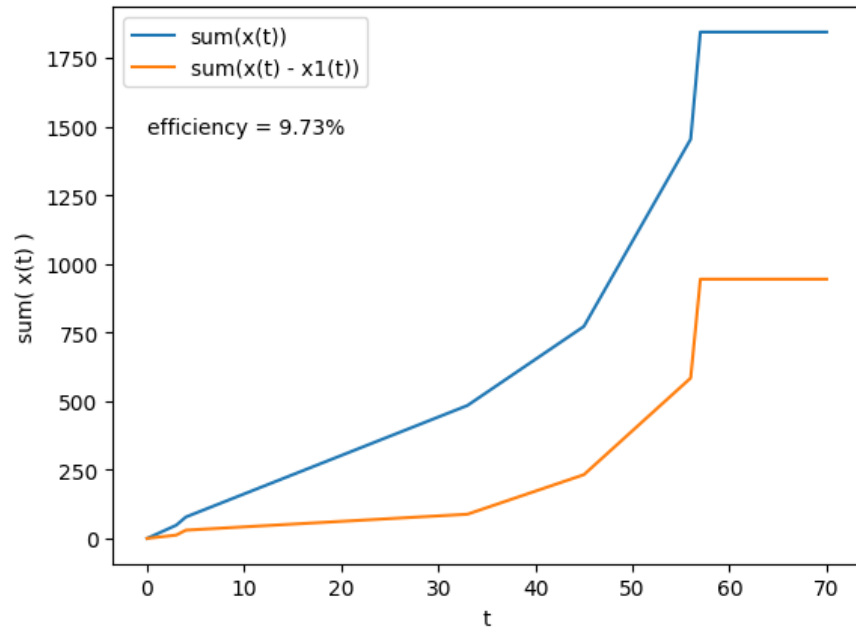


Рисунок 3.8 – Сумарні кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 2, параметри 300–500.

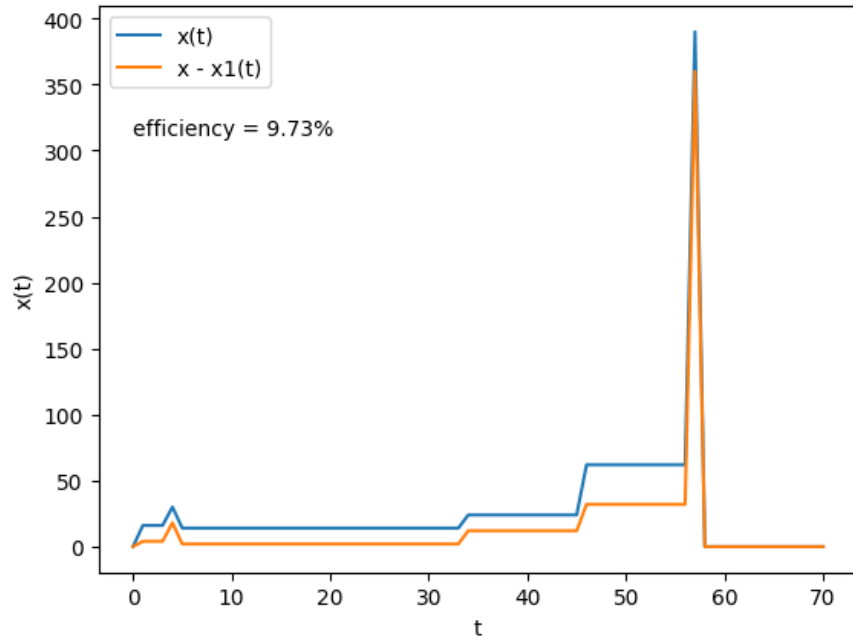


Рисунок 3.9 – Кількість агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 2, параметри 300–500.

Ситуація 2: зміна ситуації на більш придатну для масового впливу

привела до росту ефективності, в результаті збільшення кількісно впливу (рис. 3.8) й бачимо, що за рахунок перетинання внутрішньої валюти другого порогу (рис. 3.10) з'явився пік впливу (рис. 3.9)

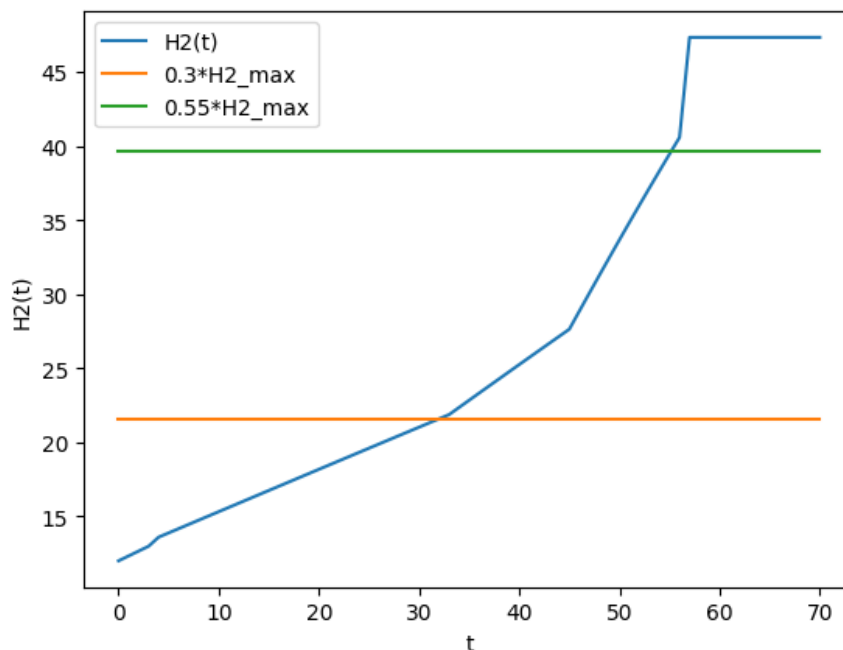


Рисунок 3.10 – Залежність внутрішньої валюти агентів групи θ_2 від часу. Ситуація 2, параметри 300–500.

3.5 Посередні результати

Цей підрозділ буде наповнений результатами 7 посередніх експериментів. Це зроблено, щоб показати як і чому змінюється ефективність завдаваного інформаційного впливу й кількісно порівняти інформаційний вплив за різних умов в різних ситуаціях. Результати експериментів будуть надані в наступному форматі:

- графіки сумарних кількостей й кількості агентів, які піддалися впливу від часу;
- ті самі графіки в другій ситуації;
- короткий висновок

Експеримент 300–1000

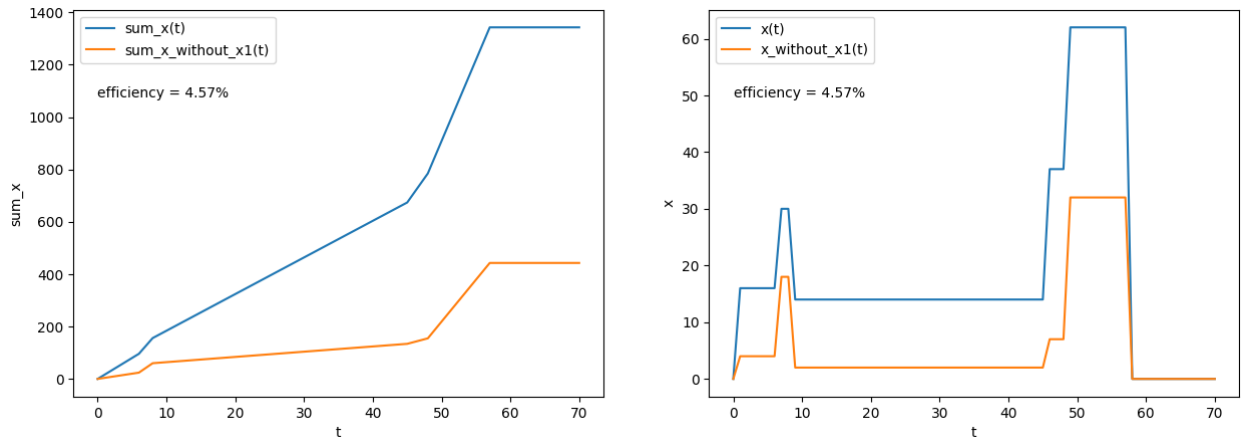


Рисунок 3.11 – Залежності сумарних кількостей й кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 1, параметри 300–1000.

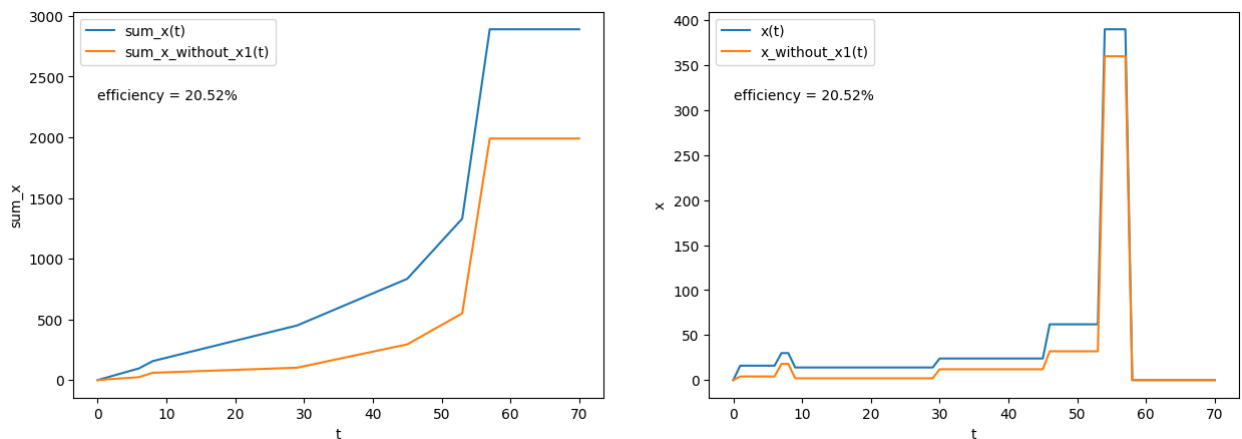


Рисунок 3.12 – Залежності сумарних кількостей й кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 2, параметри 300–1000.

На графіках (рис. 3.11), (рис. 3.12) бачимо, що як і показав найгірший результат кількість $N_1 = 0.03N$ активних агентів замала, щоб при найгіршій ситуації завдати достатньо інформаційного впливу для проходження внутрішньої валюти агентів групи θ_2 другого порогу, щоб отримати пік впливу. Зменшення кількості агентів θ_2 за рахунок збільшення кількості агентів θ_3 збільшило ефективність впливу.

Експеримент 300–1500

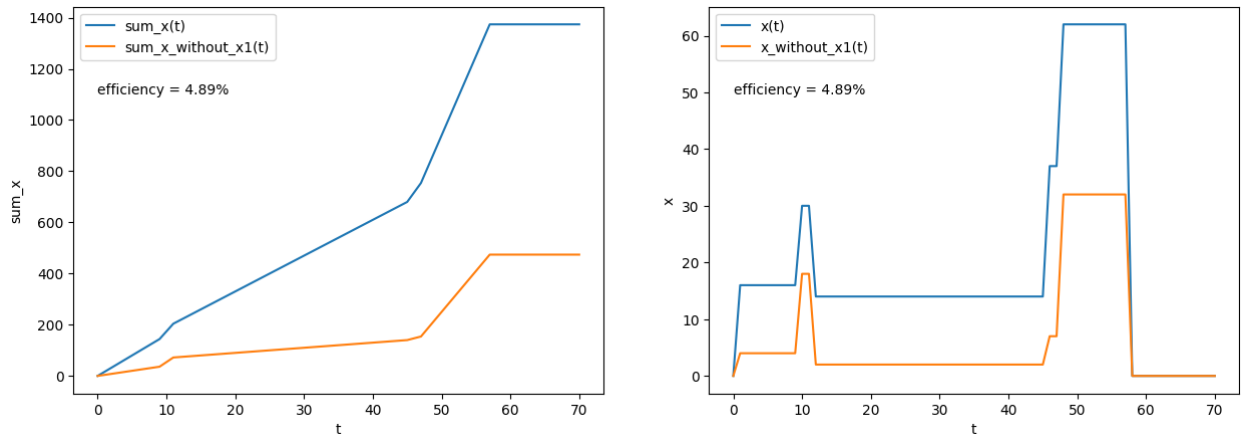


Рисунок 3.13 – Залежності сумарних кількостей й кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 1, параметри 300–1500.

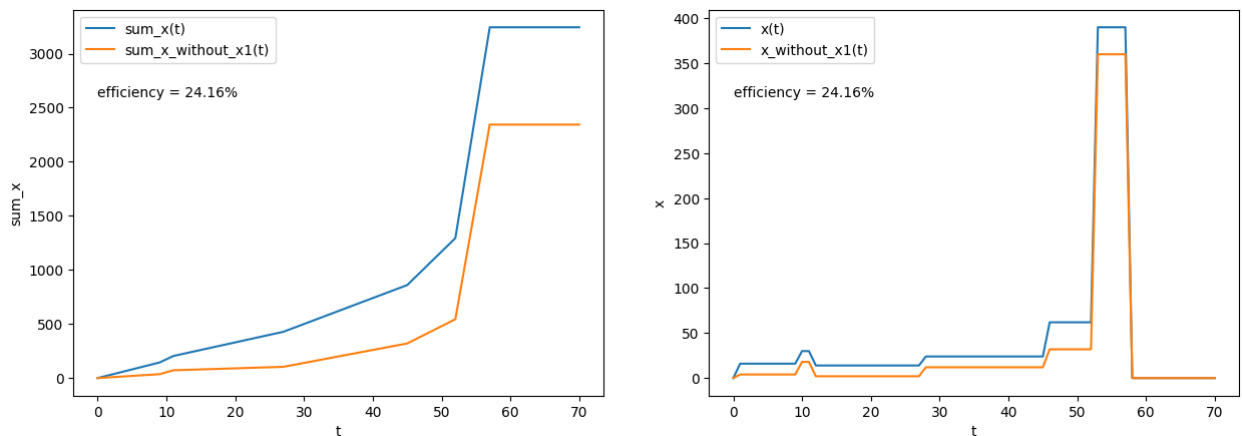


Рисунок 3.14 – Залежності сумарних кількостей й кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 2, параметри 300–1500.

На графіках (рис. 3.13), (рис. 3.14) бачимо, що додаткове зменшення кількості агентів θ_2 за рахунок збільшення кількості агентів θ_3 ще збільшило ефективність впливу, але при найгіршій ситуації піка впливу не було досягнуто.

Експеримент 400–500

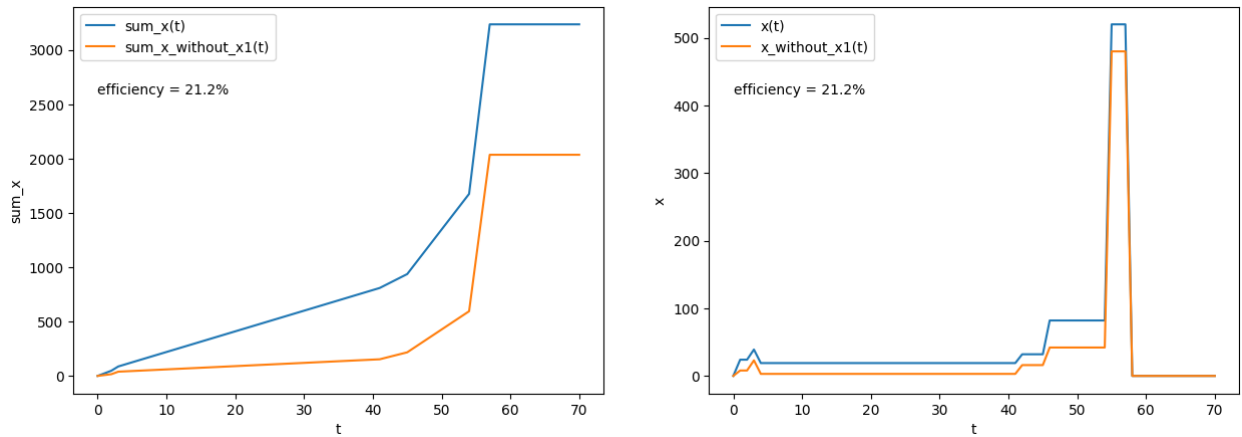


Рисунок 3.15 – Залежності сумарних кількостей й кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 1, параметри 400–500.

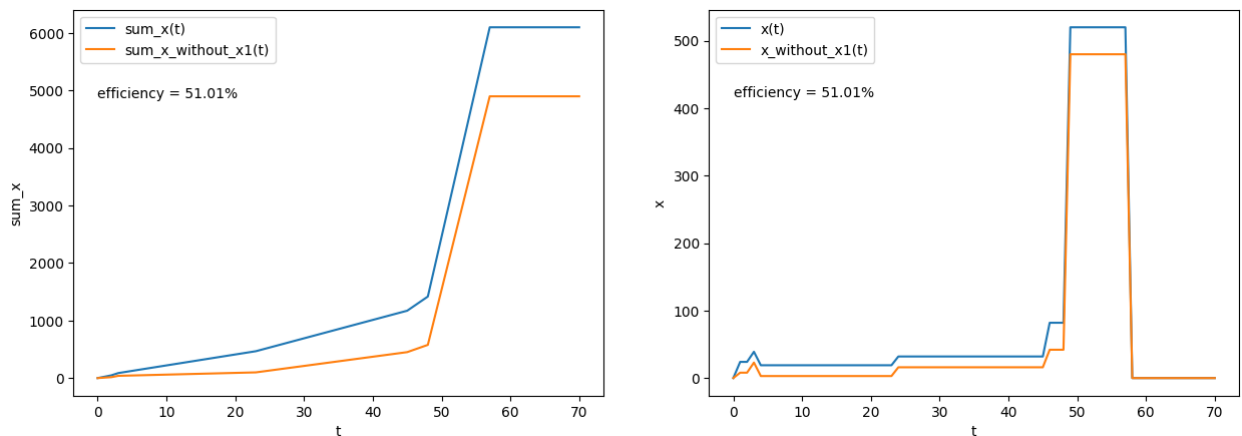


Рисунок 3.16 – Залежності сумарних кількостей й кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 2, параметри 400–500.

На графіках (рис. 3.15), (рис. 3.16) бачимо, що кількості $N_1 = 0.04N$ активних агентів вже достатньо для завдання інформаційного впливу такої масовості, якої достатньо, навіть при найгіршій ситуації, досягається пік впливу.

Експеримент 400–1000

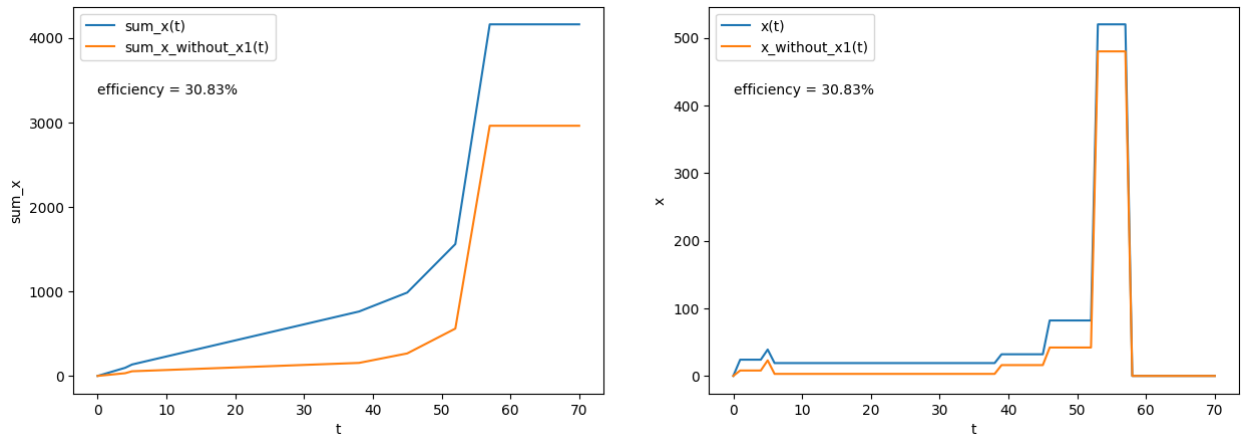


Рисунок 3.17 – Залежності сумарних кількостей й кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 1, параметри 400–1000.

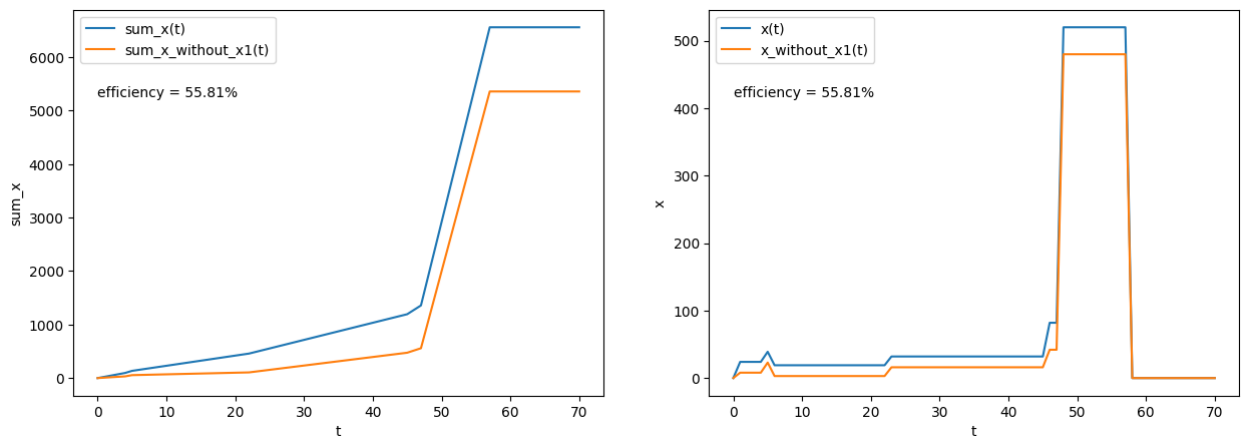


Рисунок 3.18 – Залежності сумарних кількостей й кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 2, параметри 400–1000.

На графіках (рис. 3.17), (рис. 3.18) бачимо, що зменшення кількості агентів θ_2 за рахунок збільшення кількості агентів θ_3 збільшило ефективність впливу.

Експеримент 400–1500

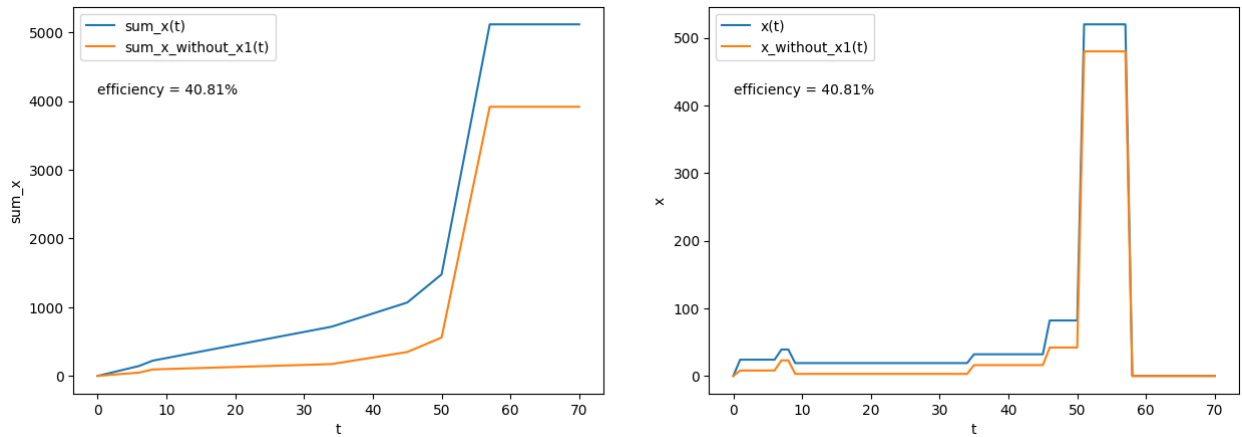


Рисунок 3.19 – Залежності сумарних кількостей й кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 1, параметри 400–1500.

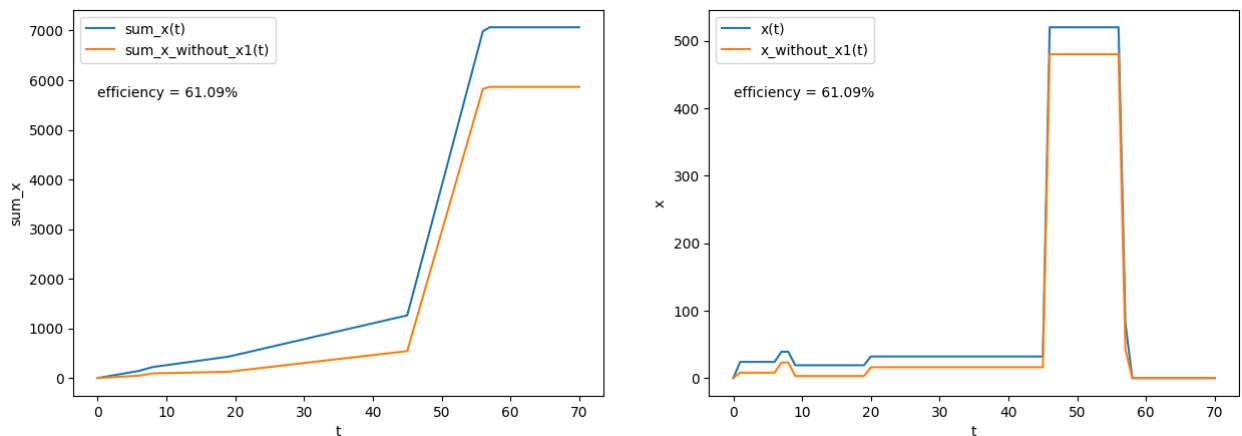


Рисунок 3.20 – Залежності сумарних кількостей й кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 2, параметри 400–1500.

На графіках (рис. 3.19), (рис. 3.20) бачимо, що додаткове зменшення кількості агентів θ_2 за рахунок збільшення кількості агентів θ_3 ще збільшило ефективність впливу. Велика різниця між найгіршою й найкращою ситуацією зберігається.

Експеримент 500–1000

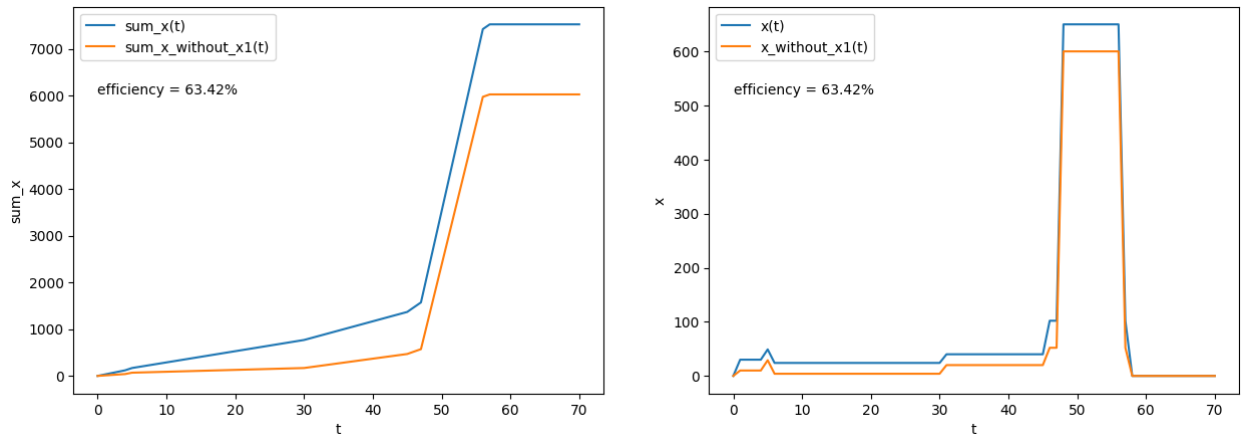


Рисунок 3.21 – Залежності сумарних кількостей й кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 1, параметри 500–1000.

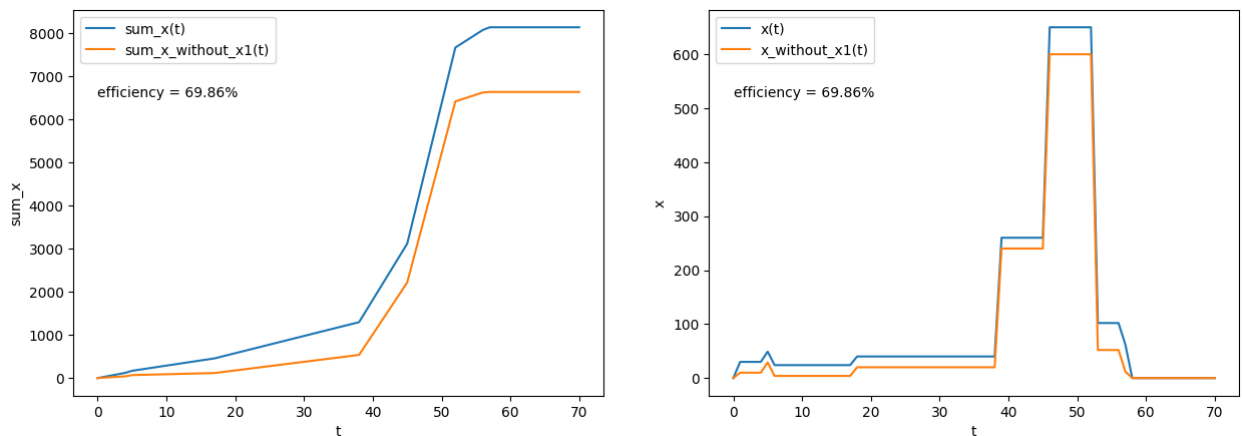


Рисунок 3.22 – Залежності сумарних кількостей й кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 2, параметри 500–1000.

На графіках (рис. 3.21), (рис. 3.22) бачимо, що кількості $N_1 = 0.05N$ активних агентів вже достатньо для завдання масованого інформаційного впливу, при будь-якій ситуації.

Експеримент 500–1500

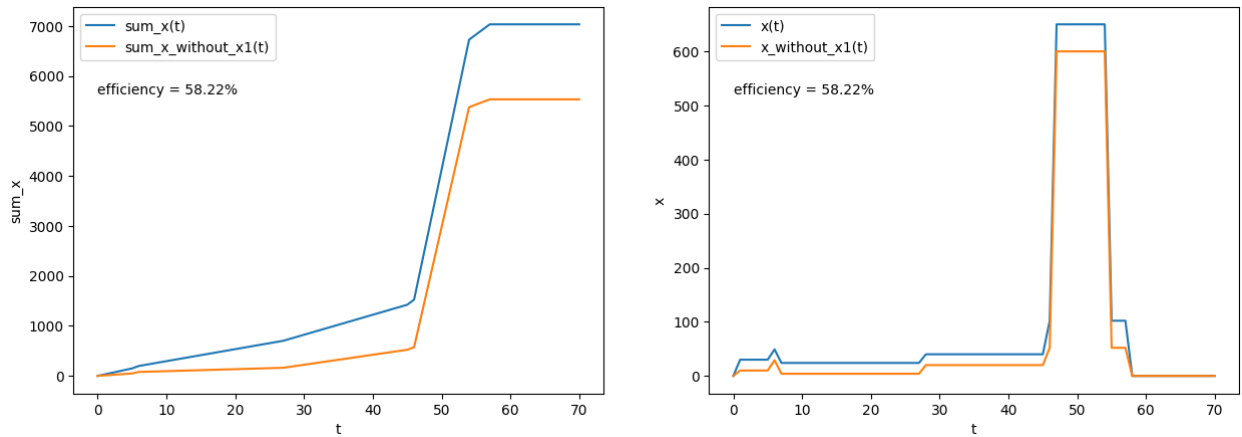


Рисунок 3.23 – Залежності сумарних кількостей й кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 1, параметри 500–1500.

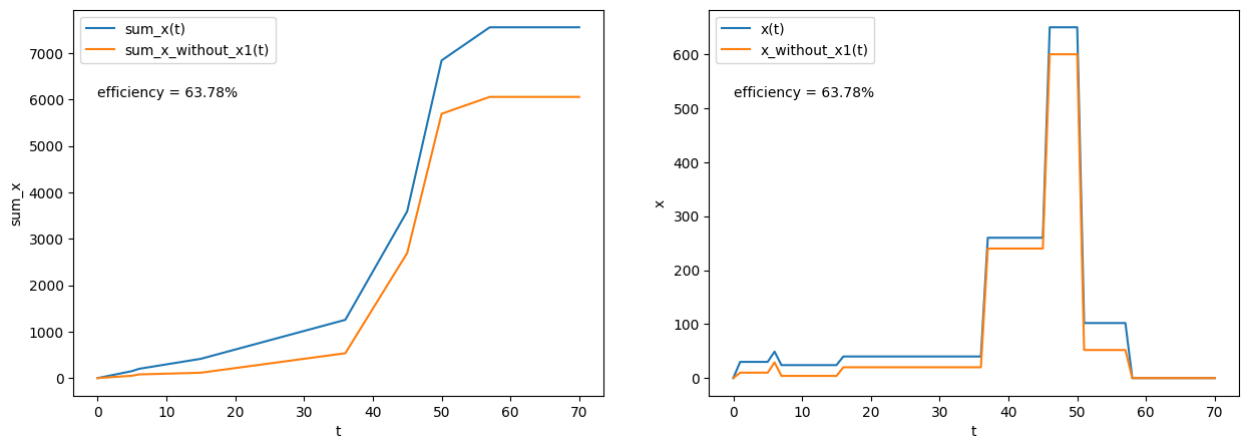


Рисунок 3.24 – Залежності сумарних кількостей й кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 2, параметри 500–1500.

На графіках (рис. 3.21), (рис. 3.22) бачимо, що при кількості $N_1 = 0.05N$ на відміну від $N_1 = 0.03N$, $N_1 = 0.04N$ зменшення кількості агентів θ_2 за рахунок збільшення кількості агентів θ_3 зменшує ефективність впливу. Так ми й дійшли до найкращого результату.

3.6 Найкращий результат

Огляд результатів закінчуємо найкращим. Найкраще модель показала себе в експерименті 500–500. Розглянемо отриману при таких параметрах поведінку, проаналізувавши графіки.

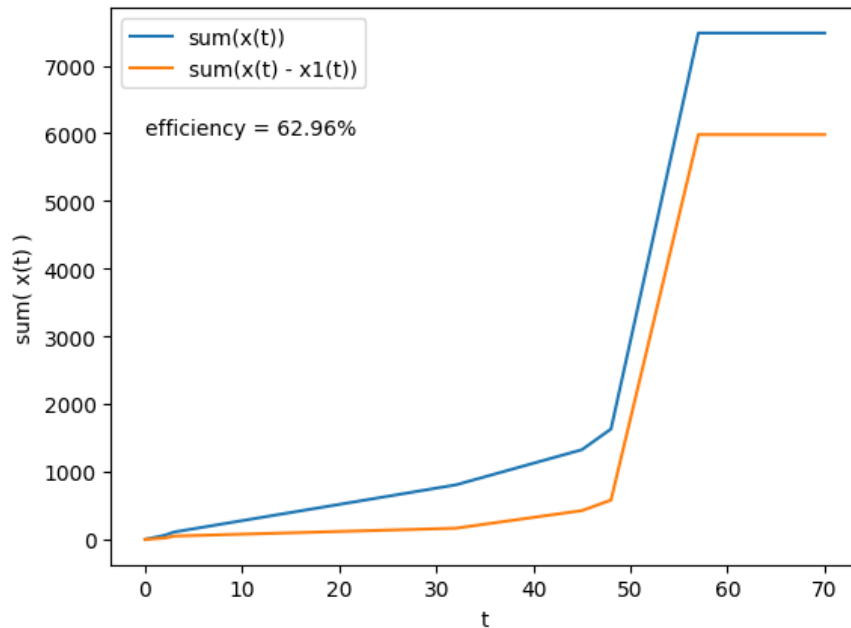


Рисунок 3.25 – Сумарні кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 1, параметри 500–500.

Ситуація 1: внутрішня валюта (рис. 3.27) легко і якнайшвидше перетнула другий поріг, що призвело до великої масованості завдаваного інформаційного впливу під час піка впливу (рис. 3.26). Параметри функції кількості тих, хто завдає вплив підібрані максимально оптимально для нарощування масованості впливу саме під час піка, що призвело до великої кількості агентів, що піддалися впливу (рис. 3.25) й високого значення ефективності.

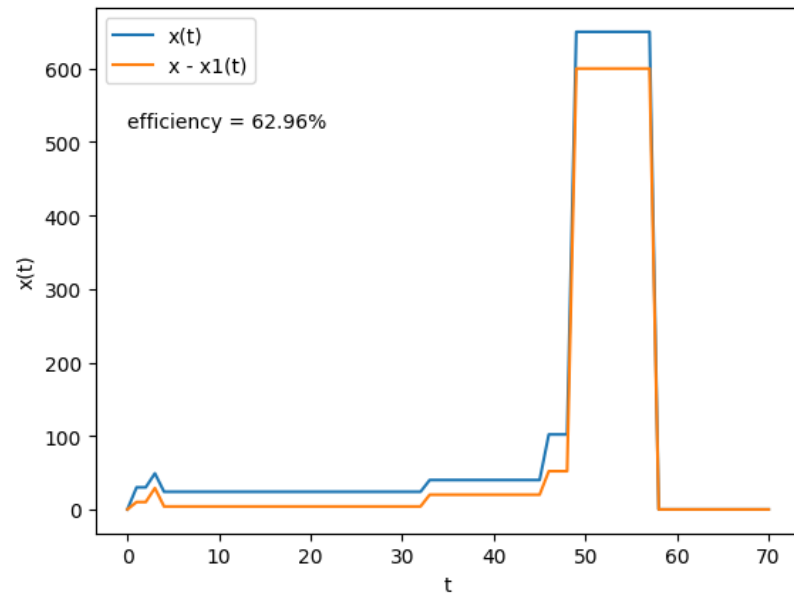


Рисунок 3.26 – Кількість агентів, які піддалися впливу від часу.
Ситуація 1, параметри 500–500.

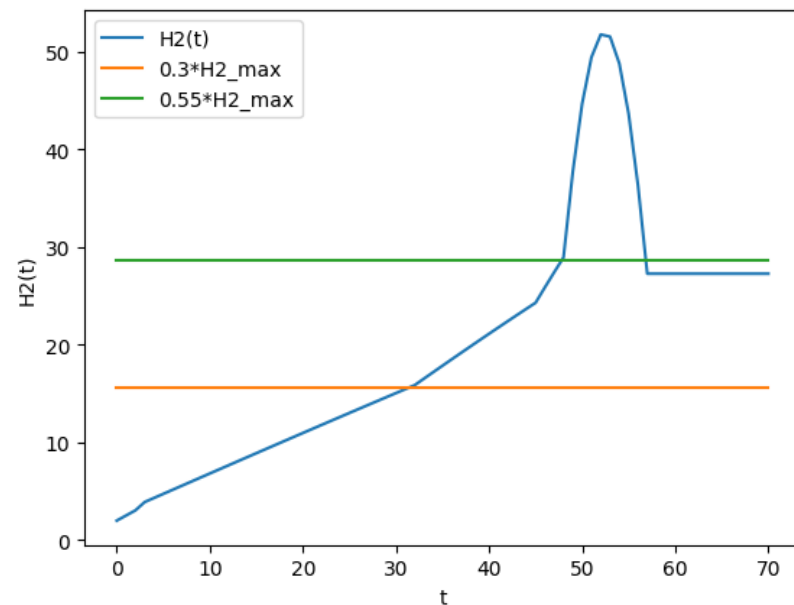


Рисунок 3.27 – Залежність внутрішньої валюти агентів групи θ_2 від часу. Ситуація 1, параметри 500–500.

Ситуація 2: зміна ситуації на більш придатну лише покращила й до того чудові результати, ще швидше внутрішня валюта (рис. 3.30) перетнула другу межу, що призвело до наймасованішого розглянутого завданого інформаційного впливу (рис. 3.28).

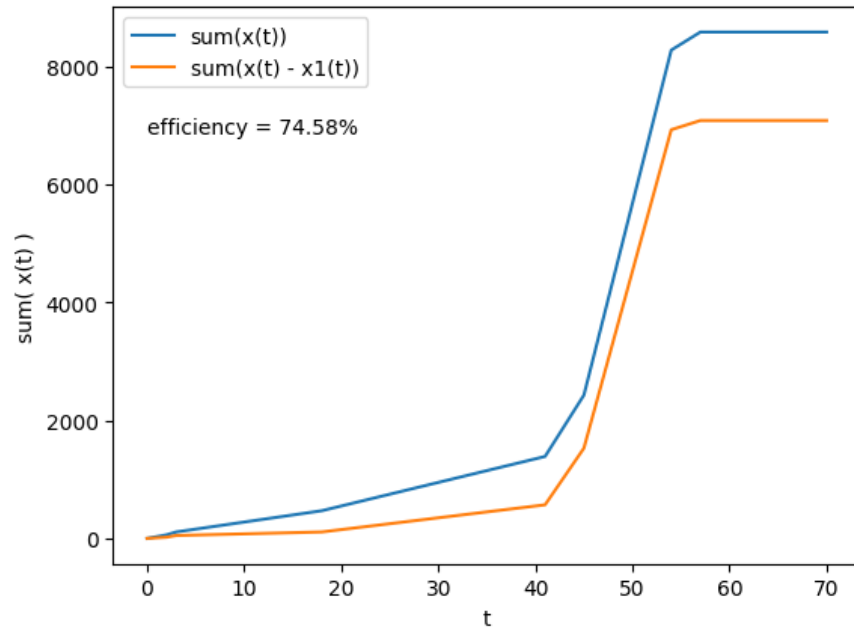


Рисунок 3.28 – Сумарні кількості агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 2, параметри 500–500.

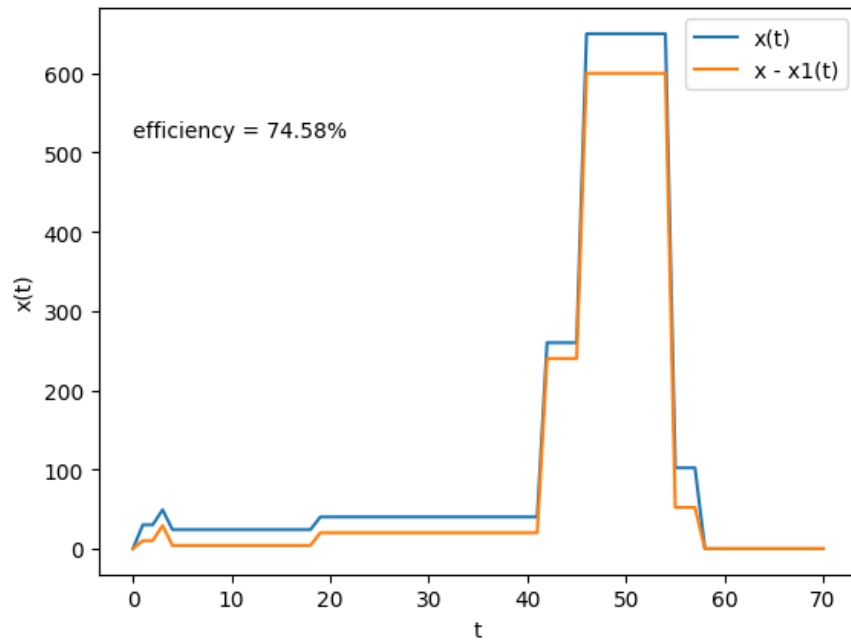


Рисунок 3.29 – Кількість агентів, які піддалися впливу від часу. Ситуація 2, параметри 500–500.

Підсумовуючи: найраційний результат отримано в експерименті 500–500, а саме найбільше значення ефективності й найкраща робота активних агентів (рис. 3.29).

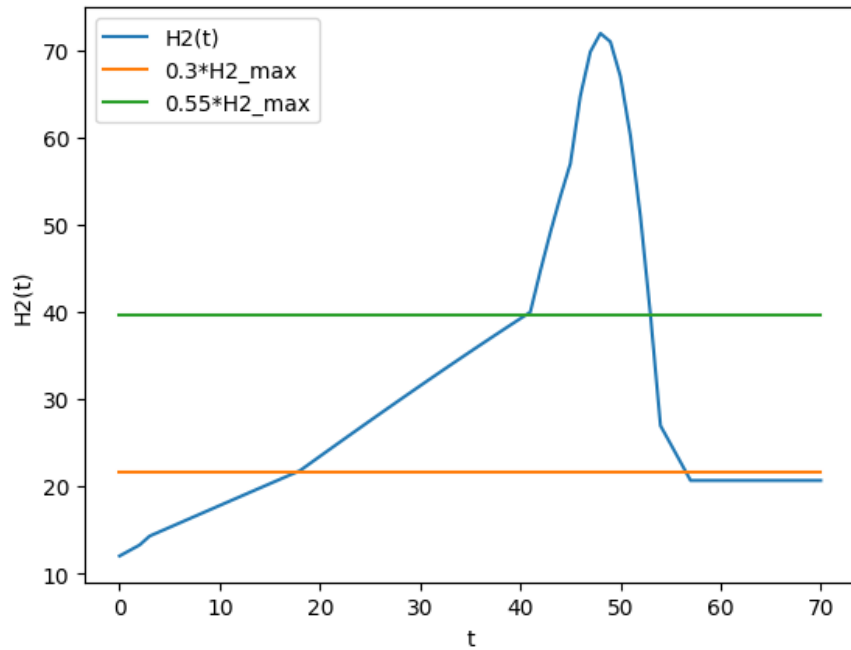


Рисунок 3.30 – Залежність внутрішньої валюти агентів групи θ_2 від часу. Ситуація 2, параметри 500–500.

Висновки до розділу 3

На побудованих в результаті чисельного експерименту графіках наочно бачимо, як поведуть себе різні групи агентів під інформаційним впливом. За різних кількостях агентів θ_1 отримуємо наступні результати: для задання масованого впливу кількість $N_1 = 0.03N$ є недостатньою, єдиний варіант задати хоч трохи ефективний інформаційний вплив – чекати кращої ситуації, кількість $N_1 = 0.05N$ достатня для задання дуже масованого інформаційного впливу й дозволяє майже не залежати від отриманої ситуації. Також зауважимо, при малих кількостях агентів θ_1 $N_1 = 0.03N$ чи $N_1 = 0.04N$ чим менша кількість агентів θ_2 тим легше на них подіяти. Напроти, при більшій кількості агентів θ_1 $N_1 = 0.05N$ не має проблеми в ресурсах, тому чим більше агентів θ_2 , тим більш масований вплив буде реалізовано. Код реалізації моделі й чисельного експерименту наведено в Додатку А. Отримані результати показані в таблиці (посилання) в Додатку Б.

ВИСНОВКИ

Було розроблено рефлексивну модель, яка заснована на першому рангу рефлексії й відповідає поставленій задачі – кількісне визначення наслідків інформаційного впливу, який задають активні агенти на пасивних, зважаючи на те, що під впливом пасивні перетворюються на активних.

Проведено чисельний експеримент, в результаті виконання якого на графіках наочно показано, як поведуть себе різні групи агентів під інформаційним впливом. За різних кількостях агентів θ_1 отримано наступні результати: для задання масованого впливу кількість $N_1 = 0.03N$ є недостатньою, через що єдиний варіант отримати ефективний інформаційний вплив – діяти в інший час, коли параметри стануть більш сприятливі, кількість $N_1 = 0.05N$ достатня для задання дуже масованого інформаційного впливу й дозволяє майже не залежати від отриманої ситуації. Також слід зауважити, при малих кількостях агентів θ_1 $N_1 = 0.03N$ чи $N_1 = 0.04N$ чим менша кількість агентів θ_2 тим легше на них подіяти. Напроти, при більшій кількості агентів θ_1 $N_1 = 0.05N$ не має проблеми в ресурсах, тому чим більше агентів θ_2 , тим більш масований вплив буде реалізовано.

В подальшому слід розробити алгоритм оптимізації інформаційного впливу й ввести змінні у часі групи впливу. Існує можливість додавати інші групи суспільства, наприклад, активних агентів, які будуть протидіяти впливу, задаючи свій. Розроблена в цій роботі модель заснована на першому рангу рефлексії, в подальшому можна поширити вплив й на другий ранг. Поряд з інформаційною рефлексією варто розглянути й стратегічну рефлексію, тому буде доречно розбити пасивних агентів на різні групи за використовуваними стратегіями.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. *Fudenberg D., Tirole J.* Game theory. — MIT Press, 1991.
2. *Павлов Д. Г.* Теоретико-ігрові моделі поведінки учасників контекстної рекламної кампанії // Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили]. Сер. : Комп'ютерні технології. — 2011. — Т. 160, № 148. — С. 47—51. — URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npchduct_2011_160_148_9.
3. *Дудат'єв А. В., Войтович О. П.* Інформаційна безпека соціотехнічних систем: Модель інформаційного впливу // ІТКІ. — 2017. — Черв. — Т. 38, № 1. — С. 16—21.
4. *Lefebvre V.* Conflicting Structures. — Los Angeles, CA : Leaf & Oak Publishers, 2015.
5. *Hörner J., Skrzypacz A.* The Economics of Informational Decentralization: Complexity, Efficiency, and Stability // American Economic Journal: Microeconomics. — 2009. — Т. 1, № 2. — С. 225—247.
6. *Смирнов С., Терещенко І.* Моделювання внутрішньої валюти в рефлексивних іграх з багатокритеріальними функціями виграшу // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2018. — Т. 1. — С. 93—98.
7. Теорія і практика управління страхом в умовах бойових дій: метод. посібник / О. М. Кокун [та ін.]. — Київ : Накладом Державного вищого навчального закладу «Київський університет імені Бориса Грінченка», 2022. — ISBN 978-966-928-797-7.

ДОДАТОК А ТЕКСТИ ПРОГРАМ

А.1 Програма 1

Основні функції

```
def situation(H2_max,H3_max):  
    if H2_max <= 0.3/0.55*H3_max:  
        print("situation 1")  
        return 1  
    if H2_max <= 0.4/0.55*H3_max:  
        print("situation 2")  
        return 2  
    if 0.4/0.55*H3_max < H2_max <= H3_max:  
        print("situation 3")  
        return 3  
    if H3_max <= 0.75*H2_max:  
        print("situation 4")  
        return 4  
    if H3_max <= H2_max:  
        print("situation 5")  
        return 5  
    else:  
        print("situation error")  
        return 0  
  
def index_i(H2,H2_max):  
    if H2 <= 0.3*H2_max:  
        return 1  
    if 0.3*H2_max < H2 <= 0.55*H2_max:  
        return 2  
    else:  
        return 3  
  
def index_j(H3,H3_max):  
    if H3 <= 0.3*H3_max:
```

```

        return 1
    if 0.3*H3_max < H3 < 0.4*H3_max:
        return 2
    else:
        return 3

def x1(t,N):
    t_0 = 45
    if t <= t_0:
        return 0.04*N[0] if 0.04*N[0] >=15 else 20
    else:
        return (3*N[0]-(0.04*N[0])*t_0)/12

def x2_i(x,i):
    if i == 1:
        return int(x/5)
    if i == 2:
        return 2*int(x/3)
    else:
        return 3*x

def x3_j(x,j):
    if j == 1:
        return int(x/5)
    if j == 2:
        return 2*int(x/3)
    else:
        return 0

def X(t,k1,k2,k3,i,j,N):
    x_1 = 0 if check_empty_group_1(k1,k2,k3,t,i,j,N,1)
    else x1(t,N)
    x_2 = 0 if check_empty_group_1(k1,k2,k3,t,i,j,N,2)
    or check_empty_group_1(k1,k2,k3,t,i,j,N,1)
    else x2_i(x1(t,N),i) + x2_i(x2_i(x1(t,N),i)
    + x3_j(x1(t,N),j), i)

```

```

x_3 = 0 if check_empty_group_1(k1,k2,k3,t,i,j,N,3)
    or check_empty_group_1(k1,k2,k3,t,i,j,N,1)
    else x3_j(x1(t,N),j) + x3_j(x2_i(x1(t,N),i)
        + x3_j(x1(t,N),j), j)
return x_1 + x_2 + x_3

def H2(sum_x,N2,a2,b2):
    if (np.pi*sum_x)/N2 > np.pi:
        return a2
    else:
        return a2+b2*np.sin(np.pi/N2*sum_x)

def H3(sum_x,N3,a3,b3):
    if (np.pi*sum_x)/N3 > np.pi:
        return a3
    else:
        return a3+b3*np.sin(np.pi/N3*sum_x)

def check_empty_group_1(k1,k2,k3,t,i,j,N,l):
    if l == 1:
        return k1 - x1(t,N) <0
    elif l == 2:
        return k2 - x2_i(x1(t,N),i) -
            x2_i(x2_i(x1(t,N),i)
                + x3_j(x1(t,N),j), i) <0
    elif l == 3:
        return k3 - x3_j(x1(t,N),j)
            - x3_j(x2_i(x1(t,N),i)
                + x3_j(x1(t,N),j), j) <0
    else:
        return False

def model2(T,a2,b2,a3,b3,N):
    H2_max = a2+b2
    H3_max = a3+b3
    N1 = 3*N[0]

```

```

N2 = N[1]
N3 = N[2]
x = [0 for _ in range(T+1)]
sum_x = [0 for _ in range(T+1)]
x_without_x1 = [0 for _ in range(T+1)]
sum_x_without_x1 = [0 for _ in range(T+1)]
k1 = [N1 for _ in range(T+1)]
k2 = [N2 for _ in range(T+1)]
k3 = [N3 for _ in range(T+1)]
h2 = [a2 for _ in range(T+1)]
h3 = [a3 for _ in range(T+1)]

for t in range(1,T+1):
    i = index_i(h2[t-1],H2_max)
    j = index_j(h3[t-1],H3_max)

    k1[t] = k1[t-1]
    if check_empty_group_1(k1[t-1],k2[t-1],k3[t-1],t,i,j,N,1)
        else int(k1[t-1] - x1(t,N))
    k2[t] = k2[t-1]
    if check_empty_group_1(k1[t-1],k2[t-1],k3[t-1],t,i,j,N,2)
        or check_empty_group_1(k1[t-1],k2[t-1],k3[t-1],t,i,j,N,1)
        else int(k2[t-1] - x2_i(x1(t,N),i) -
            x2_i(x2_i(x1(t,N),i) + x3_j(x1(t,N),j), i))
    k3[t] = k3[t-1]
    if check_empty_group_1(k1[t-1],k2[t-1],k3[t-1],t,i,j,N,3)
        or check_empty_group_1(k1[t-1],k2[t-1],k3[t-1],t,i,j,N,1)
        else int(k3[t-1] - x3_j(x1(t,N),j) -
            x3_j(x2_i(x1(t,N),i) + x3_j(x1(t,N),j), j))

    x[t] = X(t,k1[t-1],k2[t-1],k3[t-1],i,j,N)
    sum_x[t] = np.sum(x)

    x_without_x1[t] = X(t,k1[t-1],k2[t-1],k3[t-1],i,j,N)
    if check_empty_group_1(k1[t-1],k2[t-1],k3[t-1],t,i,j,N,1)
        else X(t,k1[t-1],k2[t-1],k3[t-1],i,j,N) - x1(t,N)

```

```

sum_x_without_x1[t] = np.sum(x_without_x1)

h2[t] = H2(sum_x[t],N2,a2,b2)
h3[t] = h3[t-1] if j==3 else H3(sum_x[t],N3,a3,b3)

print(f"{t}")

for l in range(1,4):
    if check_empty_group_l(k1[t-1],k2[t-1],k3[t-1],t,i,j,N,l):
        print(f"N{l} is empty")

print("index i = ",i)
print("index j = ",j)
print(f"k1[{t}] = ",k1[t])
print(f"k2[{t}] = ",k2[t])
print(f"k3[{t}] = ",k3[t])
print(f"x[{t}] = ",x[t])
print(f"sum_x[{t}] = ",sum_x[t])
print(f"x_without_x1[{t}] = ",x_without_x1[t])
print(f"sum_x_without_x1[{t}] = ",sum_x_without_x1[t])
print(f"h2[{t}] = ",h2[t])
print(f"h3[{t}] = ",h3[t])
print("-----")

return sum_x,x,sum_x_without_x1,x_without_x1,k1,k2,k3,h2,h3

```

Візуалізація

```

for i in range(5):
    situation(a2[i]+b2[i],a3[i]+b3[i])
    sum_x,x,sum_x_without_x1,x_without_x1,k1,k2,k3,h2,h3=
        (model2(T,a2[i],b2[i],a3[i],b3[i],N))
    efficiency=round(sum_x_without_x1[-1]/(N[1]+N[2])*100,2)
    print("efficiency =",efficiency)
x_max = max(x)

```

```

sum_x_max = max(sum_x)
print("sum_x_max=",sum_x_max)

t = np.arange(0,T+1)
H2_threshold1 = [0.3*(a2[i]+b2[i]) for _ in range(T+1)]
H2_threshold2 = [0.55*(a2[i]+b2[i]) for _ in range(T+1)]
H3_threshold1 = [0.3*(a3[i]+b3[i]) for _ in range(T+1)]
H3_threshold2 = [0.4*(a3[i]+b3[i]) for _ in range(T+1)]

line1, = plt.plot(t,sum_x)
line2, = plt.plot(t,sum_x_without_x1)
plt.legend([line1, line2], ['sum(x(t))', 'sum(x(t) - x1(t))'])
plt.text(0, 0.8*sum_x_max, f"efficiency = {efficiency}%")
plt.xlabel("t")
plt.ylabel("sum( x(t) )")
plt.show()

line1, = plt.plot(t,x)
line2, = plt.plot(t,x_without_x1)
plt.legend([line1, line2], ['x(t)', 'x - x1(t)'])
plt.text(0, 0.8*x_max, f"efficiency = {efficiency}%")
plt.xlabel("t")
plt.ylabel("x(t)")
plt.show()

plt.plot(t,k2)
plt.xlabel("t")
plt.ylabel("k2(t)")
plt.show()

line1, = plt.plot(t,h2)
line2, = plt.plot(t,H2_threshold1)
line3, = plt.plot(t,H2_threshold2)
plt.legend([line1, line2, line3],
           ['H2(t)', '0.3*H2_max', '0.55*H2_max'])
plt.xlabel("t")

```

```
plt.ylabel("H2(t)")  
plt.show()
```

```
plt.plot(t,k1)  
plt.xlabel("t")  
plt.ylabel("k1(t)")  
plt.show()
```

```
line1, = plt.plot(t,h3)  
line2, = plt.plot(t,H3_threshold1)  
line3, = plt.plot(t,H3_threshold2)  
plt.legend([line1, line2, line3], ['H3(t)', '0.3*H3_max', '0.4*H3_max'])  
plt.xlabel("t")  
plt.ylabel("H3(t)")  
plt.show()
```

ДОДАТОК Б ВЕЛИКІ РИСУНКИ ТА ТАБЛИЦІ

Таблиця Б.1 – Результати чисельних експериментів

N_1	N_3	Ситуація	Ефективність	Агенти під впливом	Пік
300	500	1	3.82%	371	немає
		2	9.73%	944	є
	1000	1	4.57%	443	немає
		2	20.52%	1990	є
	1500	1	4.89%	474	немає
		2	24.16%	2344	є
400	500	1	21.2%	2035	є
		2	51.01%	4897	є
	1000	1	30.83%	2960	є
		2	55.81%	5458	є
	1500	1	40.81%	3918	є
		2	61.09%	5865	є
500	500	1	62.96%	5981	є
		2	74.58%	7085	є
	1000	1	63.42%	6025	є
		2	69.86%	6637	є
	1500	1	58.22%	5531	є
		2	63.78%	6059	є