

*В.В. Шевченко, Д.С. Берестов, І.П. Сініцин, В.Я. Петрівський*

## ОСОБЛИВОСТІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ДУМОК У СОЦІУМІ НА ПРИКЛАДІ МОДЕЛІ СТУДЕНТСЬКОЇ СПІЛЬНОТИ

У статті розглядаються особливості комп'ютерного моделювання, засновані на використанні теорії клітинних автоматів як основного інструменту для моделювання процесів формування суспільної думки. За об'єкт моделювання було обрано соціальну поведінку в контексті прийняття навчального матеріалу в рамках освітнього процесу. Як інструмент моделювання була обрана теорія клітинних автоматів, оскільки вона є відносно простим і водночас ефективним методом моделювання взаємодії однотипних об'єктів. Розроблена базова клітинна автоматна модель має розширені правила визначення стану клітини і визначення близькості клітини. Також була виведена залежність коефіцієнта сприйняття інформації від різниці між станом клітини і її оточенням. Ці удосконалення дозволяють використовувати модель для прогнозування змін в уподобаннях соціальних груп.

Ключові слова: клітинні автомати, навчальний процес, моделювання.

### Вступ

В умовах світу, що постійно змінюється, для кожної людини важливим є забезпечення своєї затребуваності, як фахівця у сфері її діяльності. Для забезпечення цього необхідно мати навички швидкого навчання та об'єктивну картину світу. Вища освіта дозволяє це отримати. Якісне навчання в університеті складається з багатьох аспектів: вивчення освітньої програми, суспільної активності та наукової діяльності. В цій роботі під наукоцентричним підходом до освіти будемо вважати підхід, за якого наука виступає рушійною силою, що спонукає студента приділяти більше уваги вивченню предметів програми та спонукає його виходити за межі програми для поглиблення знань в обраній спеціальності. Правильно прищеплений студенту науковий підхід дозволяє в подальшому розробляти нестандартні інноваційні рішення. Але формування саме наукового підходу в студента є складним процесом, оскільки є багато чинників, що заважають його формувати. Примус до науки - марна річ. Тому до заняття наукою студентів залучають через переконання, що це корисно для їхнього фахового зростання. Тобто певною мірою має місце агітація.

Тому **актуальним** є забезпечення ефективного формування у студента розуміння необхідності участі в науковій діяльності через вплив з боку викладачів. Відповідно до цього також **актуальною** є

розробка моделі навчального процесу при наукоцентричному підході для прогнозування наслідків керівничих рішень з приводу агітаційної роботи зі студентами.

За допомогою моделей на основі клітинних автоматів порівняно легко моделювати процеси, в яких задіяні однотипні об'єкти реального світу. Тому було запропоновано використовувати теорію клітинних автоматів для моделювання розповсюдження інформації в соціумі.

**Мета роботи.** Розробити методи прогнозування зміни суспільної думки за рахунок розробки моделі соціальної поведінки щодо акцепції навчального матеріалу при наукоцентричному підході в освіті.

### Аналіз існуючих розробок та постановка задачі

Дослідження теорії клітинних автоматів (КЛА) ведуться з кінця 40-х років ХХ століття, коли ідея КЛА була «на поверхні». Тому створення цієї теорії приписується чотирьом науковцям, що працювали над її ідеями незалежно та одночасно. Джон фон Нейман працював над теорією самовідтворюваних машин, а його колега з лабораторії Станіслав Улам розробляв математичну модель росту кристалів. Обмін ідеями привів до створення клітино-автоматної моделі еволюції систем. Майже одночасно Норберт Вінер та Артуро Розерблют розробили

ли клітинно-автоматну модель збудливого середовища для опису розповсюдження імпульсів у нейронних мережах. У подальшому теорія КЛА набула популярності в 70-х роках ХХ століття, коли нею зацікавилися звичайні любителі та популяризатори науки. Зокрема, важливий внесок зробив Джон Конвей, коли розробив клітинний автомат «Гра Життя». Конвей зацікавився проблемою, запропонованою Нейманом моделі гіпотетичної самовідтворюваної машини зі складними правилами поведінки. Конвей спростив ідеї Неймана і створив правила «Гра Життя». Даний автомат та його модифікації вплинули на деякі розділи математики, інформатики та фізики. Про це свідчать багато різних комп'ютерних реалізацій.

Особливістю теорії клітинних автоматів є те, що за її допомогою може бути змодельована та описана велика кількість явищ [1-5]. Наприклад, для моделювання розповсюдження лісових пожеж [6], автомобільного трафіку однією смугою руху [7], опису процесів квантового світу [8]. Але існує досить мало досліджень, напряму пов'язаних з використанням клітинних автоматів для поведінки соціуму в контексті навчальних процесів, зокрема, в університеті. Це породжує **протиріччя** між особливостями постановки задач щодо моделювання з урахуванням великої кількості параметрів та вузьким набором керуючих параметрів існуючих моделей на кшталт «Гри Життя» Джона Конвея.

### Загальні поняття теорії клітинних автоматів.

Усі клітинні автомати, що будуть розглядатися далі, керуються наступними правилами:

1) Для роботи клітинного автомату задається початкове значення клітин клітинного поля та правила визначення стану клітин на наступній ітерації.

2) Клітинне поле – це прямокутне поле клітин, при цьому є замкненим та геометрично набуває форми Тору. Кількість клітин задається користувачем через кількість рядків та стовпчиків клітин.

3) Клітина може мати дискретний (наприклад, 0 або 1) чи недискретний стан (наприклад, значення у межах від 0 до 1).

4) Усі клітини поля мають попередньо визначену *околицю* – множину клітин «сусідів», від значень яких залежить стан досліджуваної клітини.

5) На кожній ітерації клітинного автомату за допомогою правил переходу та станів клітин поля визначається новий стан кожної з клітин.

Автомат завершує свою роботу, якщо на полі не залишається жодної «живої» клітини, якщо клітинне поле на черговій ітерації співпадає з будь-яким іншим полем попередніх ітерацій або якщо при черговому кроці жодна з клітин не змінює свого стану.

Розглянутий клітинний автомат без подальшого покращення являє собою досить абстрактну модель, для якої життєву ситуацію знайти досить складно, тому актуальним є його вдосконалення за напрямком введення необхідного набору правил розвитку клітинного автомату.

### Вдосконалення загальних правил клітинного автомату Вдосконалення правила можливих станів клітини.

В більшості клітинних автоматів клітини можуть приймати лише чітко зазначені дискретні значення, що не є доречним у ситуації поширення думок у соціумі. В даному випадку доречнішим є використання недискретних значень. Вважаймо, що надалі думка клітини  $-1 \leq s \leq 1$  може мати значення в проміжку  $-1 \leq s \leq 1$ , де крайні межі відповідають діаметрально протилежним точкам зору на деякі питання. В такому разі клітинне поле буде представлено як кольорове клітинне поле (Рис. 1), на якому кожна клітина має свій колір. Чим світліше клітина, тим ближче її значення до 1, чим темніше, тим ближче значення до -1.

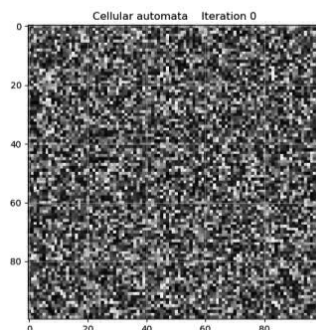


Рис. 1. Клітинне поле з вдосконалим правилом можливих станів клітини.

**Вдосконалення правила визначення стану клітини.**

Оскільки об'єкт нашого дослідження (соціум) так чи інакше є замкненою системою і складно (в деяких випадках і неможливо) виділити об'єкти соціуму, що знаходяться біля межі, вважаймо клітинне поле замкненим, що топологічно утворює форму тору.

У цьому розділі ми удосконалимо правила визначення стану клітини. Для об'рахунку кількості сусідів використовуємо правило, виведене Муром [7], тобто кожна клітина матиме 8 сусідів у своїй околиці.

Оскільки на ставлення людини певною мірою впливають думки людей, що з ним спілкуються, стан клітини на ітерації можна представити у вигляді функції 9 змінних, де перша зміна відповідає стану піддослідної клітини, а інші 8 змінних є станами сусідніх клітин. Ми пропонуємо такий вигляд функції:

$$s_{t+1} = s_t + \left( \frac{\sum_{i=1}^n n_i}{n} - s_t \right) * k \quad (1)$$

де  $n$  – кількість сусідніх клітин,  
 $n_i$  – стан  $i$ -ї клітини з оточення клітини  $s_t$ ,  
 $s_t$  – стан клітини на ітерації  $t$ ,  
 $s_{t+1}$  – стан клітини на ітерації  $t+1$ ,  
 $k$  – коефіцієнт сприйнятливості чужої думки.

Коефіцієнт сприйнятливості  $k$  може задаватися попередньо користувачем або залежати від попередньо заданих параметрів. У даному випадку було вирішено встановити значення на рівні. Реалізація КЛА з впровадженим правилом визначення стану клітини зображено на Рис. 2. Загалом КЛА прямує до стану рівноваги (прихід соціуму до спільної думки). Це пов'язано з відсутністю зовнішніх чинників, що могли би кардинально вплинути на процес формування думки.

**Введення базового правила визначення околиці клітини.**

У клітинному автоматі Джона Конвея «Гра Життя» стан клітини залежить від станів клітин в околиці, а саме від 8 сусідніх клітин. Це унеможливує моделювання

систем, де об'єкти можуть контактувати з різною кількістю об'єктів. Тому було запропоновано ввести базове правило визначення околиці клітини, що дозволяє при моделюванні встановлювати необхідну околицю клітини (радіус взаємодії). Наприклад, радіус  $R = 2$  дозволяє мати 24 сусідні клітини. Кількості клітин в околиці при довільному радіусі визначається за формулою:

$$n = (2R + 1)^2 - 1,$$

де  $R$  – радіус внутрішньопопуляційної взаємодії.

Перевіримо працездатність моделі зі змінним радіусом взаємодії на прикладі КЛА з радіусом взаємодії  $R = 2$  (Рис. 3). Зміна радіусу дала очікуваний результат: у широкому колі спілкування соціум прийшов до практично спільної думки за проміжок удвічі менший, аніж з  $R = 1$ .

**Ускладнене правило визначення околиці клітини.**

Базове правило визначення околиці клітини може бути ускладнене шляхом введення «мапи місцевості», що є набором значень радіусів взаємодії для кожної окремої клітини поля автомату.

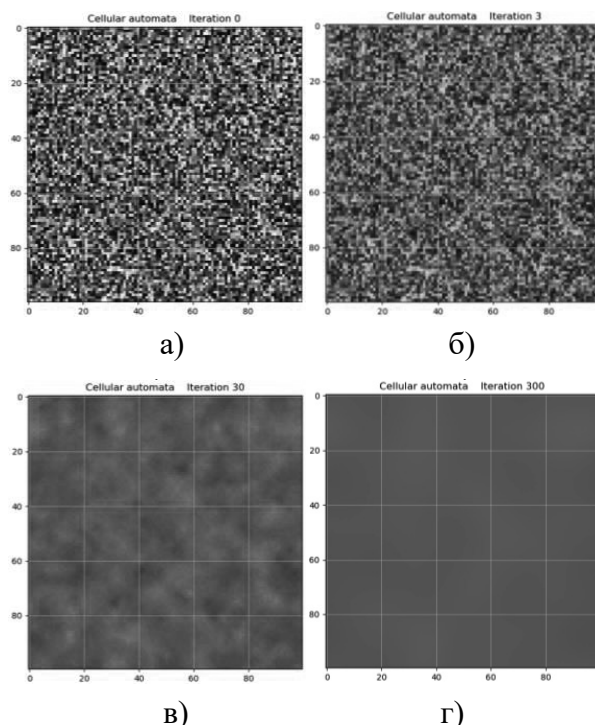


Рис. 2. Клітинний автомат з вдосконалим правилом визначення стану клітини. а) початкове поле, б) ітерація 3, в) ітерація 30, г) ітерація 300.

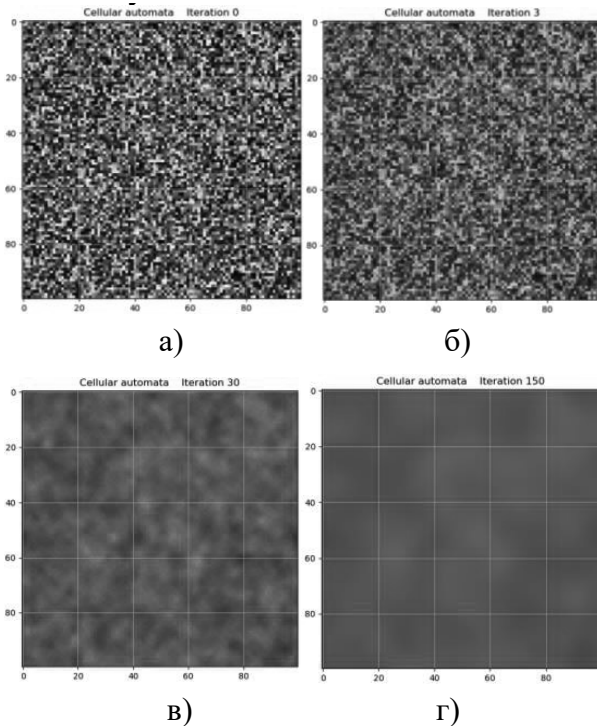


Рис. 3. Клітинний автомат з радіусом  $R = 2$ . а) початкове поле, б) ітерація 3, в) ітерація 30, г) ітерація 150.

Значення для кожної клітини можуть бути задані довільно або користувачем. Це дозволить змодельовати випадки із соціумом, в якому різні об'єкти взаємодіють із різною кількістю об'єктів.

Для перевірки дієвості ускладненого правила визначення околиці клітини клітинне поле було поділено на чотири сектори, в кожному з яких клітини мали спільний однаковий радіус взаємодії відповідно. Поділ поля зображено на Рис. 4. Приклад роботи клітинного автомату з ускладненим правилом визначення околиці клітини зображено на Рис. 5.

$R = 1$	$R = 2$
$R = 3$	$R = 4$

Рис. 4. Поділ поля на сектори.

На ітерації 30 автомату (Рис. 5. б) можна побачити чіткі межі встановлених секторів (Рис. 4). Залежно від радіусу взаємодії клітини секторів будуть по різному змінювати свої значення, одночасно сектори з  $R = 3$  та  $R = 4$  прямують до стану рівноваги значно швидше (прихід соціуму до спільної думки), ніж сектори з радіусом

$R = 2$  та  $R = 1$ . Із цього можна зробити проміжний висновок, що широта кола спілкування сильно впливає на формування думки в соціумі.

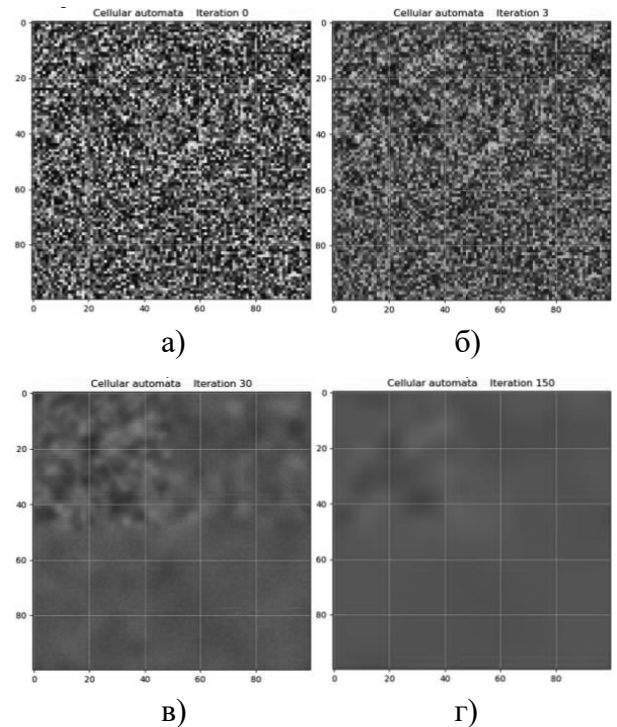


Рис. 5. Клітинний автомат з ускладненим правилом визначення околиці клітини. а) початкове клітинне поле, б) ітерація 3, в) ітерація 30, г) ітерація 150.

### Вдосконалення клітинного автомату за напрямком моделювання поведінки соціуму

#### Правило залежності коефіцієнту сприйнятливості від різниці станів клітини та її оточення.

Людське життя великою мірою складається з обрання певних варіантів розвитку подій: піти, чи не піти кудись; купити, чи не купити щось; брати, чи не брати участь у якомусь процесі. Коли ж вибір не ставить під загрозу життя, людина схильна обирати те, що і більшість її оточення. Якщо думка, якої дотримується людина, не співпадає з чужою думкою, то вона неохоче змінює власну під впливом чужої. Водночас, коли думка подібна до думки оточення, вона підсилює існуючу думку. Отож, вимальовується чітка залежність сприйнятливості чужої думки від різниці з власною, що для збільшення точності моделі робить доцільним врахування цієї залежності.

В минулих розділах було встановлено межі для можливих значень думки об'єкту:  $-1 \leq s \leq 1$ , де крайні значення відповідають протилежним баченням чи виборам в ситуації, а нуль відповідно нейтральна позиція. Також при визначенні стану кожної клітини на наступній ітерації КЛА використовується коефіцієнт сприйнятливості  $k$  (формула (1)). Значення коефіцієнту може встановлюватися вручну або за якимсь правилом.

Тому було запропоновано ввести правило визначення коефіцієнту сприйнятливості, що залежить від станів клітини та її оточення. Значення  $k$  можна розрахувати за допомогою модифікованої логістичної функції:

$$k(\Delta) = \frac{L}{1 + e^{-h*(|\Delta| - x_0)}} \quad (2)$$

де  $\Delta$  – різниці між значенням стану клітини та оточення,

$L$  – максимально можливе значення коефіцієнту  $k$ ,

$x_0$  – точка середини логістичної кривої,

$h$  – швидкість росту логістичної кривої.

Значення різниці між значенням стану клітини та оточенням розраховується за формулою:

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^n n_j}{n} - s_t \quad (3)$$

де  $n$  – кількість сусідніх клітин,

$n_i$  – стан  $i$ -ї клітини з оточення клітини  $s_t$ ,

$s_t$  – стан клітини на ітерації  $t$ .

Графік залежності коефіцієнту сприйнятливості  $k$  на базі логістичної функції зображено на Рис. 6. Параметри запропонованої функції (Рис. 6) набувають значення  $L = 1$ ,  $x_0 = 0.5$ ,  $h = -15$ . У всякому разі, зі зміною постановки задачі коефіцієнти можуть бути змінені під особливості об'єкту моделювання.

Отож, формула (1) в правилі визначення стану клітини може бути об'єднана із запропонованим правилом залежності коефіцієнту сприйнятливості від стану клітини в формулі (2) та (3):

$$s_{t+1} = s_t + \Delta * \frac{L}{1 + e^{-h*(|\Delta| - x_0)}} \quad (4)$$

Приклад роботи КЛА з введеним правилом залежності коефіцієнту сприйнятливості від різниці станів клітини та її оточення зображено на Рис. 7. Варто зазначити, що на відміну від попередніх моделей (Рис. 5), в даній (Рис. 7) можна спостерігати утворення окремих парних епіцентрів клітин з великим значенням (від 0.75 до 1) та протилежним значенням (від -1 до 0.75). Це пов'язано з появою у клітин здатності зберігати власну думку деякий час незважаючи на «вороже» оточення. Даний прояв відповідає конкретним випадкам реального життя, тому нововведене правило є доречним у моделюванні навчального процесу.

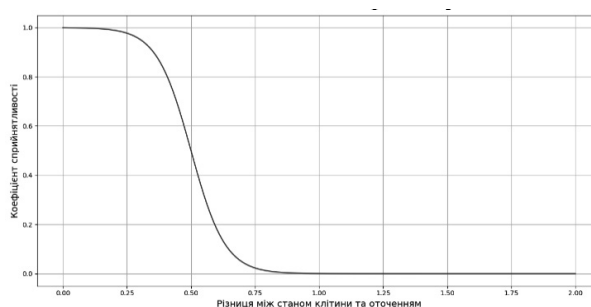


Рис. 6. Графік залежності коефіцієнту сприйнятливості від стану клітини та її оточення.

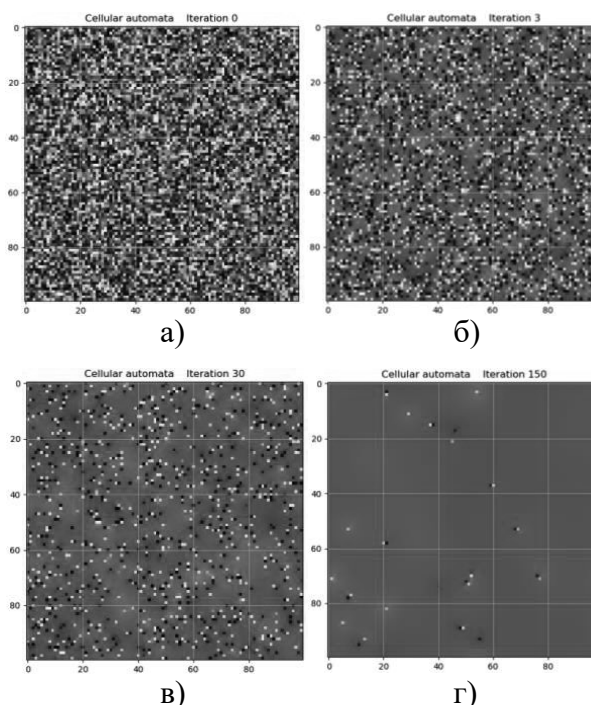


Рис. 7. КЛА з введеним правилом залежності коефіцієнту сприйнятливості від різниці станів клітини та її оточення. а) початкове клітинне поле, б) ітерація 3, в) ітерація 30, г) ітерація 150.

### Правило циклічної зміни радіусів взаємодії клітин поля.

В реальному житті люди постійно знаходяться в русі, щодня людина знаходиться мінімум у двох різних колах спілкування: домашнє та робоче. Аналогічні процеси відбуваються і під час навчального процесу: проводяться спільні лекції, семінари та практичні заняття для окремих груп. Тож студенти постійно змінюють коло спілкування. Водночас різниця в успішності окремих груп часто зумовлюється різницею у початковій підготовці студентів до навчання, власною активністю студентів та загальною сприятливою атмосферою в групі. Перші два показники в моделі враховуються під час формування початкового клітинного поля, а останній раніше не брався до уваги.

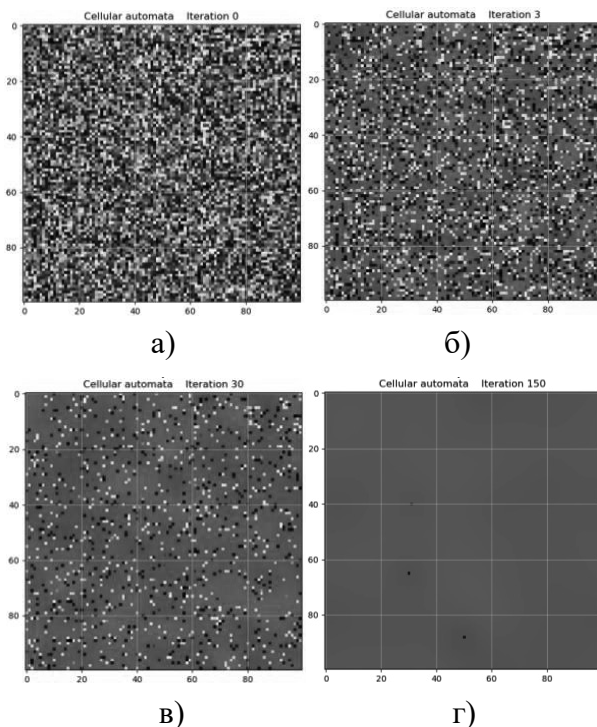


Рис. 8. Реалізація правила циклічної зміни радіусів взаємодії клітин поля. а) початкове клітинне поле, б) ітерація 1, в) ітерація 2, г) ітерація 4.

Тому було запропоновано ввести правило циклічної зміни радіусів взаємодії клітин поля, що дозволяє задавати декілька «мап місцевості» радіусів взаємодії для циклічної її зміни протягом роботи автомату. Для перевірки роботи правила встановимо циклічність зміни радіусів взаємодії з зсувом на 2 значення, тобто клітина з радіусом

взаємодії  $R = 4$  змінює його на  $R = 2$ . Один цикл триватиме 2 ітерації автомату.

Приклад роботи КЛА з введеним правилом циклічної зміни радіусів взаємодії клітин поля зображено на Рис. 8. Після введення правила модель змінила свою поведінку: на полі утворюється більше окремих парних епіцентрів клітин з великими (від 0.75 до 1) та (від -1 до -0.75) малими значеннями. Це пов'язано саме з тим, що у циклічній зміні радіусів взаємодії клітини спілкуються з різною кількістю оточуючих клітин. В умовах окремих груп це означає, що бачення питання іншої групи менше впливає на досліджувану групу і в ній з меншою ймовірністю з'являються люди з думкою, що кардинально відрізняється від інших.

### Апробація модифікованого клітинного автомату при моделюванні навчального процесу при наукоцентричному підході.

Для моделювання процесів утворення думок в соціумі в роботі була використана математична та алгоритмічна формалізація, яка була відпрацьована вище на простіших моделях зі змінними умовами зміни стану клітин, визначення околиці клітин, залежності коефіцієнту сприйнятливості від різниці станів клітини та її оточення й циклічної зміни радіусів взаємодії клітин поля. Тож абстрактний КЛА було пристосовано до задач моделювання процесів утворення думок у соціумі. Для подальшої апробації уточнимо постановку задачі, термінологію та зміст станів та процесів.

### Постановка задачі моделювання життєвого циклу навчального процесу на базі модифікованого клітинного автомату.

**Стани клітин.** Кожна клітина – це індивідуум, свідомість якого може приймати певну думку з приводу певного питання. Думка індивідуума може змінюватися в межах не дискретної шкали  $-1 \leq s \leq 1$ , де ліва межа (-1) – одне ставлення до питання, середина (0) – нейтральна позиція до питання, а права межа (1) – протилежна до лівої межі думка. В подальшому будемо вважати, що ідеально-правильною (с точки зору користувачів моделі) думкою є та, що відповідає значенню 1.

**Зміна думки індивідуума** відбувається під впливом спілкування з оточуючими індивідуумами. На динаміку розвитку соціуму (клітинного поля) загалом дуже сильно впливають початкові значення думок клітин поля та радіус взаємодії кожної з клітин. При цьому без зовнішнього втручання середня думка соціуму прямує до нейтрального значення в проміжку від  $-0.1$  до  $0.1$ .

**Радіус взаємодії** в інформаційному полі завжди різний і залежить від виду каналу комунікації: особисте, групові заходи, мас-медіа тощо. Тому врахування радіусу, що змінюється – це принципова позиція. Тут треба вказати на відмінність радіусу від розглянутих вище моделей. У моделі навчального процесу радіус взаємодії кожної окремої клітини не може бути для всіх однаковим. Він для всіх різний. І це робить ускладнене правило визначення околиці клітини обов'язковою частиною моделі навчального процесу.

### Апробація моделі на прикладі інформаційної операції щодо відвідуваності занять студентами.

Розглянута постановка задачі була апробована на моделі навчального процесу при наукоцентричному підході [9] в освіті, що орієнтується на навчання студентів через заохочення їх до наукової діяльності та творчості під час навчання.

За **позитивну думку** в моделі вважається думка, що «студенту займатися наукою корисно для навчання та саморозвитку як спеціаліста». Протилежною **негативною думкою** є така, що «наукова діяльність студента не має сенсу, бо це ніяк не знадобиться в майбутньому».

Водночас, варто зазначити, що результати моделювання насправді залежать не тільки від початкового стану клітин в соціумі, а й від керуючих впливів зовнішнього оточення.

### Постановка задачі.

**Клітини** – студенти одного потоку. При апробації вважаймо, що один потік складається зі 100 студентів і відповідно поле має розмір 10 на 10 клітин.

**Поле** для спрощення представлено у двовимірному вигляді та для збільшення

контактів згорнуте у тор. Початкові значення клітин задаються випадково в межах зазначених чисел. У випадку моделювання реального потоку якоїсь спеціальності для визначення станів клітин поля достатньо провести соціологічне опитування щодо ставлення до наукової діяльності та активності студента. Це також дозволить встановити значення радіусів взаємодії студентів. Для моделі використовується однакове початкове клітинне поле (Рис. 9 а) та поле радіусів взаємодії (Рис. 9 б). Зміна умов буде змінювати клітинне поле також.

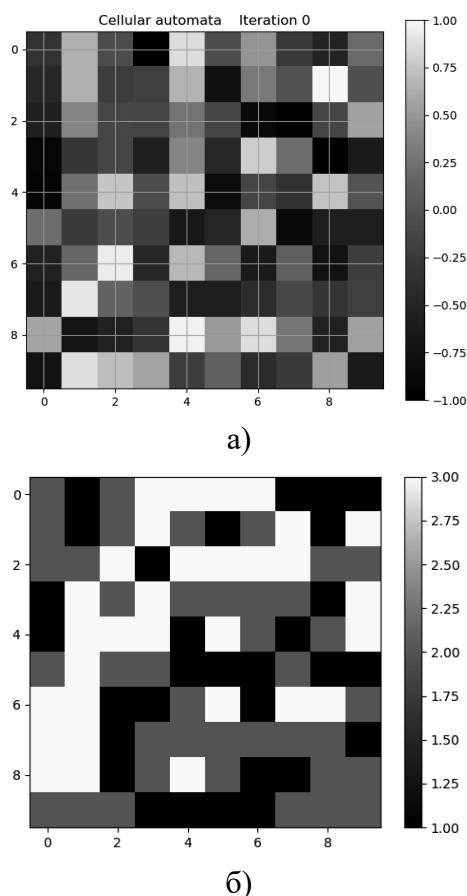


Рис. 9. Початкові поля автомату.  
а) початкове клітинне поле,  
б) поле радіусів взаємодії.

Розглянемо 6 варіантів розвитку подій: Із випадково розподіленим (за думкою та здібностями) потоком студентів, на думки якого не впливають ззовні.

Із розділеним на групи потоком та без впливу ззовні.

Із розділеним на групи потоком та з впливом на групу з 4х студентів потоку.

Із розділеним на групи потоком та з впливом на групу з 16 студентів потоку.

Із розділенням на групи потоком та з впливом на групу з 36 студентів потоку.

Із розділенням на групи потоком та з впливом на окремих 36 студентів потоку.

### Варіант 1. Випадковий розподіл та відсутність впливу

Для аналізу зміни загальної думки потоку будемо використовувати графік залежності значення думки потоку від ітерації автомату (часу). У випадку, коли клітинне поле задається випадково без поділу на підгрупи та без впливу, думка потоку передбачувано приходить на 155 ітерації (Рис. 10) до значення близького до нуля (0.011), що відповідає нейтральному ставленню студента до участі в науковій діяльності. Звісно, деякий час загальна думка коливається через те, що спочатку кожен студент має свою незалежну думку, але в результаті думка кожного прийде до нейтрального загального значення.

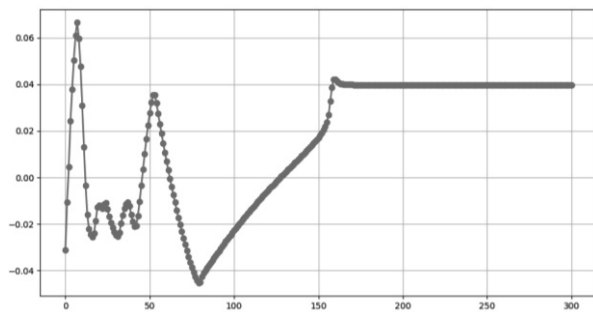


Рис. 10. Графік залежності середньої думки студентів потоку від часу.

### Варіант 2. Поділ на групи та відсутність впливу

Оскільки зазвичай групи потоків формуються на початку першого курсу за рейтинговим балом або за балами вступних екзаменів, доречним є використання саме моделі з поділом на підгрупи. Для цього сформуємо нове клітинне поле потоку, який буде складатися з 4 груп, у кожній з яких студенти будуть мати певне ставлення до наукової діяльності в межах: від -1 до -0.5 (лівий верхній край поля – студенти нігілісти, які бояться наукової діяльності та не бачать у цьому сенсу), від -0.5 до 0 (лівий нижній край – студенти, які бояться наукової діяльності та є пасивними в навчальному процесі), від 0 до 0.5

(правий верхній край – студенти, які не бояться науки, але в них не вистачає на це загальної мотивації) та від 0.5 до 1 (правий нижній край – наукоорієнтовані студенти, здатні до наукової роботи за певного зовнішнього втручання). Створене клітинне поле (Рис. 11) буде використано і в подальших моделях.

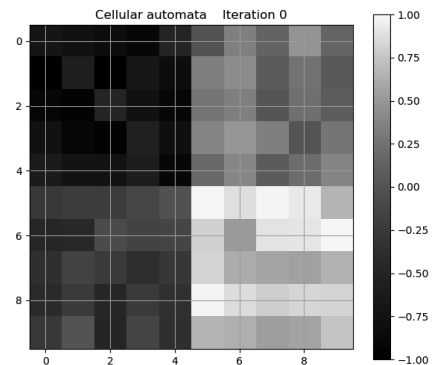


Рис. 11. Клітинне поле потоку з поділом на групи.

У разі поділу потоку на групи та невтручання в процес формування думки до нейтрального стану середня думка потоку (Рис. 12) приходить в 4.4 рази швидше, ніж у варіанті 1 (Рис. 10).

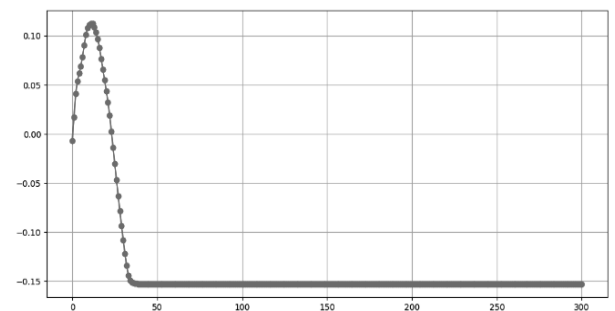


Рис. 12. Графік залежності середньої думки студентів потоку від часу.

Це пов'язано з тим, що у поділеному на групи потоці, студентів - односторонців об'єднують в одній групі, що призводить до зменшення активності дискусії між студентами, як це було в попередній моделі. Кінцевою середньою думкою все одно є майже нейтральне значення -0.16. Тому для формування правильного ставлення студентів до наукової діяльності викладачам, керівництву кафедри та факультету необхідно брати активну участь у формуванні думки студента.



### Варіант 3. Поділ на групи та присутність впливу на 4 студентів

У варіанті 1 та варіанті 2 значення середньої думки потоку завжди прямує до нуля, бо звичайний стан для більшості студентів – нейтральний. Але на це можна впливати ззовні, проводячи агітацію студентів. Для впливу на думку студентів було вирішено обрати чотирьох студентів, з якими буде проводитися активна агітаційна робота (заохочення до написання робіт на наукові конкурси, написання тез та проведення досліджень). Для більшої ефективності було обрано студентів із найкращої групи (зі значенням думки від 0.5 до 1). В результаті роботи середнє ставлення потоку (Рис. 13) до наукової діяльності збільшилося на 0.45 відносно значення без втручання, що є досить значною різницею.

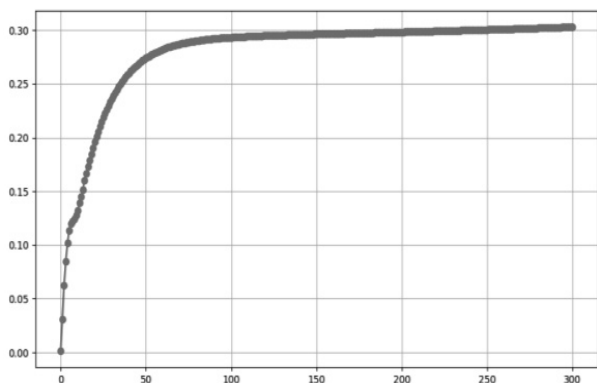


Рис. 13. Графік залежності середньої думки студентів потоку від часу.

### Варіант 4. Поділ на групи та присутність впливу на 16 студентів

У цьому випадку кількість студентів, з якими проводиться агітація зросла до 16. В результаті збільшення агітації до 16 цього середнє ставлення потоку (Рис. 14) до наукової діяльності збільшилося на 0.63 (тобто становить 0.47) відносно значення без втручання. Водночас період насичення, коли швидкість зміни думки потоку зменшується, наступає раніше на 40 ітерацій автомату, що також є важливим показником, оскільки в такому випадку можуть економитися ресурси, що використовуються на агітацію.

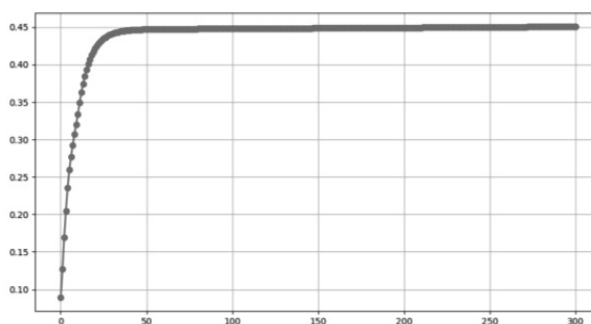


Рис. 14. Графік залежності середньої думки студентів потоку від часу.

### Варіант 5. Поділ на групи та присутність впливу на 36 студентів

У цьому випадку кількість студентів, з якими проводиться агітація зросла до 36. Через це середнє ставлення потоку (Рис. 15) до наукової діяльності збільшилося на 0.79 (тобто становить 0.63) відносно значення без втручання. Досягнуте значення перебуває в межах, які встановлювалися під час формування найкращої групи (від 0.5 до 1). Це полегшує навчання студентів та співпрацю з викладачами. Воно стає ефективнішим.

### Варіант 6. Поділ на групи та присутність впливу на 36 студентів з різних груп

Доцільним також є моделювання випадку, коли студенти, з якими має проводитися агітація, вибираються рівномірно в усіх групах потоку. Припустимо, студентів, з якими ведеться агітація, буде 36. У результаті цього середнє ставлення потоку (Рис. 16) до наукової діяльності збільшилося на 0.79 (тобто становить 0.63) відносно значення без втручання. Агітація відбулася досить ефективно, але й не на стільки, як у варіанті 5. У випадку ж варіанту 5 агітація відбувалася планомірно, без різких стрибків значень.

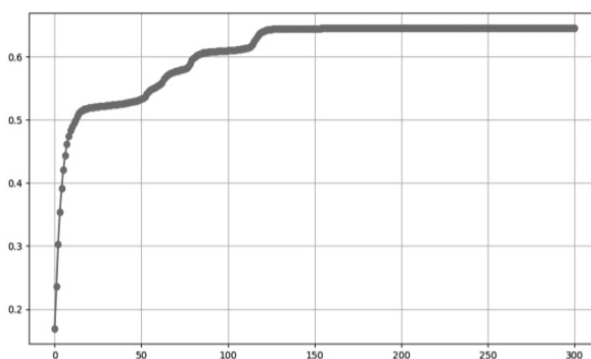


Рис. 15. Графік залежності середньої думки студентів потоку від часу.

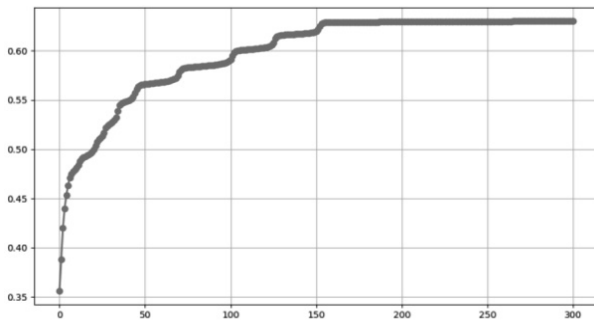


Рис. 16. Графік залежності середньої думки студентів потоку від часу.

На основі створених варіантів розвитку моделі навчального процесу за умови наукоцентричного підходу створимо порівняльну таблицю з початковою, кінцевою кількістю студентів, підготовлених до наукової діяльності та різницею між цими значеннями (Табл. 1).

Таблиця 1

Варіант	Початкова кількість	Кінцева кількість	Різниця кількостей
1	25	0	-25
2	25	0	-25
3	25	5	-20
4	25	66	41
5	36	77	41
6	36	83	47

Варто зазначити, що існуючі підходи до прогнозування поширення ідей у навчальному середовищі не враховують залучення студентів через інших студентів, а лише через викладачів. Це призводить до появи похибки в межах від 20% до 47%, що є значним відхиленням. Розроблена модель дає вигреш в оцінці динаміки зміни уподобань студентів на рівні від 41% до 47%. Виходячи з результатів дослідження (Табл. 1) найефективнішим є 6 варіант розвитку подій, що робить активними у науковій діяльності 80% студентів потоку. Залежно від результатів опитування студентів та подальшого моделювання з різними варіантів розвитку може обиратися найбільш оптимальний. Невтручання керівництва факультету, кафедри та викладачів у процес формування ставлення до наукової діяльності призводить до практичної відсутності будь-якої

активності студентів, що в свою чергу погіршує якість освіти студентів та формування висококваліфікованих спеціалістів.

### Особливості програмної реалізації моделі

В умовах необхідності швидкого пошуку оптимального рішення шляхом розгляду великої кількості варіантів, питання ефективності програмної реалізації моделі постає особливо гостро. Тому для оптимізації моделі було вирішено реалізувати кінцеву версію моделі мовою програмування C#, оскільки дана мова має вищу швидкодію в порівнянні з аналогічними високорівневими мовами програмування [10] та безпосередньо пов'язана з реалізацією моделі, написаною мовою Python.

Основною особливістю моделі, що базується на використанні клітинних автоматів, є те, що розрахунки станів клітин автомату для наступної ітерації можна виконувати паралельно. Тож процес обрахунку можливо пришвидшити в декілька разів залежно від кількості доступних ядер процесору на комп'ютері, що використовується для обчислень.

Розглянемо послідовність обрахунку станів клітин для наступної ітерації автомату:

1. Отримання вхідних даних: розміри клітинного поля, значення клітин поля, значення радіусів взаємодії клітин поля.
2. Обрахунок різниці між значенням стану клітин та їх оточення (формула (3)).
3. Обрахунок стану клітин на наступній ітерації автомату (формула (4)).
4. Виведення отриманих значень для всього клітинного поля.

У нашому випадку розпаралелюванню піддається один процес, що виконується трьома етапами.

Для розпаралелювання було використано бібліотеку Task Parallel Library, а саме один з її класів – Parallel. В результаті порівняльного аналізу швидкодії алгоритмів було отримано наступні результати (Табл. 2) для обрахунків станів автомату.

На основі значень, наведених у таблиці 2 та додаткових даних, було побудовано графік залежності часу обрахунку від кількості клітин на полі (Рис. 17).

Таблиця 2

Кількість клітин \ Тип обчислень	Послідовне виконання	Паралельне виконання
100	30	394
2500	43	1000
10000	265	4438
409600	34704	108059
1000000	75976	150867
1638400	149098	241499
26214400	2686085	1407517



Рис. 17. Графік залежності часу обчислення від кількості клітин на полі.

З графіку залежності часу обчислення (Рис. 17) можна зробити висновок, що за невеликої кількості клітин в автоматі послідовне виконання є більш ефективним. Але, якщо кількість клітин на полі перевищує значення в приблизно 5400000 клітин, паралельне виконання розрахунків стає ефективнішим. Така кількість клітин може бути використана у разі збільшення охоплення моделі до розмірів невеликої країни, що загалом є можливим. Саме тому врахування особливостей моделі у її програмній реалізації є важливим аспектом для ефективного прогнозування та обрання керівничих рішень.

### Висновки

1. У роботі збільшено активність наукової діяльності студентів за рахунок розробки моделі на базі клітинних автоматів із розширеним набором правил поведінки клітин. Отож, мета роботи досягнута.
2. Набули подальшого розвитку формалізовані та розширені правила клітинного автомату щодо замикання клітинного поля, визначення стану клітини та визначення околиці для окремих клітин.
3. У роботі вперше створено модель навчального процесу у наукоцентричному підході до освіти на базі моделі клітинних

автоматів з урахуванням додаткових параметрів впливу параметрів визначення стану клітин, базового та модифікованого правил визначення околиці клітини, правила залежності коефіцієнту сприйнятливості від стану клітини та її оточення.

4. Розроблена модель дозволяє прогнозувати динаміку розповсюдження окремих думок в навчальному процесі та має достатній набір керуючих параметрів, щоб враховувати чинники реального світу в різних галузях для вирішення конкретних практичних задач. Вдосконалений клітинний автомат може бути використаний для моделювання як об'єктів соціуму, так і процесу розповсюдження ідей, що сприяють впровадженню наукоцентричного підходу.

5. У роботі розроблено програмні інструменти для аналізу динаміки розвитку клітинного автомату на прикладі моделі навчального процесу за умови наукоцентричного підходу. Розроблена модель дає вигреш в оцінці динаміки зміни уподобань студентів на рівні від 41% до 47%, на відміну від існуючих підходів, що дають у прогнозуванні похибку від 20% до 47%.

6. Модель клітинних автоматів реалізована на трьох алгоритмічних мовах Python, MatLab та C#, що дозволяє обирати середовище моделювання за умови зміни особливостей постановки задачі.

7. Під час програмної реалізації моделі було виявлено умови, в яких паралельне виконання розрахунків моделі є доречним.

8. Напрямок подальших досліджень є розширення правил клітинного автомату, зокрема правила врахування непередбачуваних впливів ззовні студентського соціуму.

### Література

1. G. Schneckeneither, N. Popper, F. Breitenacker. Methods for Cellular Automata and Evolution Systems in Modelling and Simulation. – 8th Vienna International Conference on Mathematical Modelling MATHMOD 2015, February 18 – February 20, 2015, Vienna, Austria, pp. 141 – 146. Available from: doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.05.151
2. Шевченко Володимир, Берестов Деніс. Дослідження систем моделювання розповсюдження інформації в соціумі на базі клітинних автоматів. - XX Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених, аспі-

- рантів та студентів. - Одеса, Квітень 21-22, 2020. – сс.225- 226.
3. Shevchenko Volodymyr; Georgi Dimitrov; Denys Berestov; Pepa Petrova; Igor Sinitcyn; Eugenia Kovatcheva; Ivan Garvanov; Iva Kostadinova One-way Function Based on Modified Cellular Automata in the Diffie-Hellman Algorithm for Big Data Exchange Tasks through Open Space. – DIGILIENCE 2020: Cyber Protection of Critical Infrastructures, Big Data and Artificial Intelligence. – Varna, September 30 – October 2, 2020. – pp.233-246. Available from: <http://isij.eu/isij-47-digilience-2020-cyber-protection-critical-infrastructures-big-data-and-artificial>
  4. Shevchenko Volodymyr, Denis Berestov, Igor Sinitcyn Built-In Processor for Sharing Passwords Through the Open Information Space. - 2020 16-th International Conference Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). Proceeding. - Lviv, April 22-26, 2020. - pp.40-44. Available from: [ieeexplore.ieee.org/document/9109523](http://ieeexplore.ieee.org/document/9109523)
  5. Shevchenko Volodymyr, Denis Berestov. Research of The Workability of One-Way Functions Based on Cellular Automata for The Modified Diffie-Helman Algorithm. - MSTIoE 2020-7. 7-th East European Conference on Mathematical Foundations and Software Technology of Internet of Everything.– Kyiv, December 22-23, 2020. pp.22-23
  6. J. Freire, C. DaCamara. Using cellular automata to simulate wildfire propagation and to assist in fire management. - Natural Hazards and Earth System Sciences (NHESS), January 22, 2019, Lisbon, Portugal, pp. 169–179.
  7. Alejandro Salcido. Equilibrium Properties of the Cellular Automata Models for Traffic Flow in a Single Lane // Cellular Automata - Simplicity Behind Complexity ed.by Salcido A. – 2011, pp. 159 – 192.
  8. Lorenzo Piroli, Ignacio Cirac. Quantum Cellular Automata, Tensor Networks, and Area Laws. - Physical Review Letters, 6 November, 2020, Danvers, USA, p.5. Available from: [doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.190402](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.190402)
  9. Kiray S.A., Kaptan F. The effectiveness of an integrated science and mathematics programme: Science-centred mathematics-assisted integration. - Energy Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies Volume 4, Issue 2 - April 2012, pp. 943-956.
  10. Z. Parveen, F. Nazish Performance comparison of most common high level programming

languages. International Journal of Computing Academic Research, Volume 5, Number 5, October 2016, pp. 246-258.

Одержано 19.11.2021

### *Про авторів:*

Шевченко Володимир Вікторович  
студент бакалавр  
Кількість публікацій в українських виданнях: 10.  
Кількість публікацій в зарубіжних індексованих виданнях: 3.  
<http://orcid.org/0000-0002-2152-6816>.

Берестов Денис Сергійович  
асистент кафедри  
Кількість публікацій в українських виданнях: 60.  
<http://orcid.org/0000-0002-3918-2978>

Сініцин Ігор Петрович  
завідувач відділом  
Кількість публікацій в українських виданнях: 80.  
<http://orcid.org/0000-0002-4120-0784>

Петрівський Володимир Ярославович  
аспірант  
Кількість публікацій в українських виданнях: 18.  
<http://orcid.org/0000-0001-9298-8244>

### *Місце роботи авторів:*

Факультет інформаційних технологій КНУ ім. Тараса Шевченка  
вул. Богдана Гаврилишина, 24, Київ, Україна, 02000  
E-mail: [vladimir\\_337@ukr.net](mailto:vladimir_337@ukr.net)  
Телефон: +380970166921

E-mail: [berestov@ukr.net](mailto:berestov@ukr.net)  
Телефон: +380672247900

E-mail: [vovapetrivskyi@gmail.com](mailto:vovapetrivskyi@gmail.com)  
Телефон: +380970487778

Інститут програмних систем НАН України  
пр. Академіка Глушкова, 40, корпус 5, м. Київ, Україна, 03187  
E-mail: [ipsinitsyn@gmail.com](mailto:ipsinitsyn@gmail.com)  
Телефон: +380672261313