

## ЦИФРОВИЙ АВТОМАТ ЯК ІНСТРУМЕНТ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ СУСПІЛЬСТВА

### Андрій Перекрест

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, pks13@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7728-9020

### Кирило Вадурін

аспірант, асистент кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, kir3337@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7781-5783

### Анна Юдіна

старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, Кременчук, Полтавська область, Україна, 39600, iyusa@ukr.net

ORCID: 0000-0003-3536-7331

У роботі досліджено можливість використання моделі автомата Мура для аналізу та відображення динаміки суспільних процесів. Дослідження базується на концепції автомата Мура як інструменту для абстрагованого представлення реальних суспільних явищ шляхом визначення станів, вхідних сигналів та переходів між станами. Основною метою дослідження є розкриття можливостей та обмежень цього підходу у моделюванні суспільних процесів. Перш за все, синтезовано базову структуру автомата Мура для відображення різних станів суспільства та переходів між ними. Потім досліджено статичні ймовірнісні переходи без урахування зворотних зв'язків та нелінійних функцій. Визначено, що для більш точного та реалістичного відображення суспільних взаємозв'язків необхідно деталізувати стани, переходи, входи та виходи, базуючись на історичних фактах. Також досліджено практичний підхід до застосування моделі автомата Мура через приклад використання мови програмування та середовища моделювання GPSS. Цей приклад демонструє структуру моделі для аналізу взаємодії між станами «спокій», «політична нестабільність» та «політична стабільність» на прикладі вхідних сигналів. Ураховуючи обмежену абстракцію та ідеалізацію, модель автомата Мура виявляється корисним інструментом для аналізу можливих сценаріїв та наслідків у суспільстві. У подальшому розвиток дослідження передбачає розширення моделі з урахуванням більшої кількості чинників, удосконалення алгоритмів керування та інтеграцію історичних даних для кращого відображення суспільних подій. Основою цього дослідження є концептуалізація використання автомата Мура для моделювання соціально-економічно-політичного середовища України для передбачення можливих сценаріїв розвитку, виникнення кризових ситуацій та їх уникнення.

**Ключові слова:** цифровий автомат, автомат Мура, GPSS, скінченні автомати, моделювання процесів, комп'ютерна логіка.

**Актуальність роботи.** Сучасне суспільство є надзвичайно складною та динамічною системою, яка постійно перетворюється та адаптується під впливом різноманітних чинників. Воно включає у себе велику кількість суб'єктів, взаємодіючих між собою на різних рівнях – від індивідуальних до глобальних. У сучасних умовах високої технологізації та глобалізації суспільство проявляє неймовірну динаміку, реагуючи на зміни швидше, ніж будь-коли раніше.

Одним із ключових викликів для науковців, політиків та дослідників є розуміння та передба-

чення реакцій суспільства на змінні умови. Для цього використовуються різноманітні підходи та методи, включаючи моделювання. Одним із широко застосовуваних підходів є використання «Автомата Мура» як абстрактної моделі для аналізу та визначення станів суспільства та його реакцій на зміни в навколишньому середовищі.

Автомат Мура, або кінцевий автомат Мура [1], є математичною моделлю, яка дає змогу відобразити різні стани системи та переходи між ними на основі вхідних сигналів. Він здатний відтворювати складні процеси та взаємодії, що відбу-

ваються у суспільстві. Моделювання суспільних процесів за допомогою автомата Мура дає змогу абстрагувати суспільство як систему зі станами, де кожен стан відображає певний соціальний або політичний контекст [2].

Актуальність використання скінченних автоматів зумовлена зміною стану суспільства. В умовах зростання соціальних та політичних конфліктів важливо мати інструмент для прогнозування можливих сценаріїв розвитку подій. Скінченні автомати дають змогу моделювати різні можливі реакції та впливи на систему залежно від вхідних сигналів.

**Метою роботи** є дослідження та концептуалізація використання цифрових автоматів, а саме автомата Мура, для моделювання та аналізу стану суспільства з можливістю розширення моделі, включаючи врахування ймовірнісних переходів, історичних аспектів та інших чинників, що впливають на поведінку суспільства, що дасть змогу розкрити особливості реакцій суспільства на події, передбачити можливі наслідки та розробити стратегії управління, спрямовані на забезпечення стабільності та розвитку.

*Об'єкт дослідження* – процес динамічної зміни суспільства як системи, що включає у себе різноманітні соціальні, політичні, економічні та культурні течії.

*Предмет дослідження* – взаємодія, динаміка та зміни в суспільстві, а також реакції цієї системи на впливи зовнішнього середовища та внутрішні чинники. У контексті використання автомата Мура як моделі предмет дослідження також включає у себе визначення станів, переходів між ними, вхідних сигналів та їхнього впливу на систему суспільства.

*Наукова новизна дослідження* полягає у тому, що для моделювання та аналізу динаміки стану суспільства пропонується використовувати скінченні автомати, що, серед іншого, дають змогу додавати нові стани, вхідні та вихідні сигнали, розширюючи зону дослідження, та підвищувати рівень деталізації моделі, проте потребують серйозних соціально-економічних досліджень.

**Матеріал і результати досліджень.** Використання скінченних автоматів не є новою теорією [3], але набуває актуальності у зв'язку з розвитком технологій імітаційного моделювання та зміною стану суспільства, зростанням соціальних та політичних конфліктів, а також зміною людської поведінки.

Використання скінченних автоматів як інструменту моделювання та аналізу динаміки систем

має коріння у математичній та інженерній науках. Проте з розвитком технологій імітаційного моделювання, комп'ютерних наук та зростанням обчислювальних можливостей використання скінченних автоматів стає більш доступним та ефективним для аналізу складних систем, зокрема суспільних, що описано у проаналізованих подібних дослідженнях.

У дослідженні [4] представлено аналіз та візуалізацію людської поведінки. Воно зосереджене на подоланні труднощів зі створення профілів, пов'язаних із людською поведінкою, що виникають через великий обсяг даних та кількість параметрів. Для автоматизації аналізу та відображення поведінки запропоновано фреймворк VISUVER, що використовує динамічні скінченні автомати, які відображають еволюцію поведінки з плином часу. Модуль схожості заснований на текстовому аналізі та допомагає визначати подібні профілі серед різних поведінок.

Дослідники відзначають, що VISUVER є новаторським інструментом для аналізу та відображення динамічної людської поведінки. Він приймає вхідні дані спостережуваних змінних із метою автоматизованого відтворення еволюції поведінки. Окрім того, фреймворк має можливість виявлення схожостей між різними станами автоматів, що допомагає побудувати профілі поведінки. Однак це дослідження концентрується на аналізі індивідуума, не враховуючи соціально-економічні чинники, що впливають на соціальну комірку, у якій він знаходиться.

Дослідження [5] присвячене розробленню агент-орієнтованої моделі для прогнозу локальної динаміки кількості госпіталізацій у відділення інтенсивної терапії через COVID-19. Ураховуючи характеристики міста, його населення, клімат, соціальні звичаї та мобільність, модель відтворює поширення вірусу, ураховуючи стохастичну природу руху та активності людей. Застосування прихованих моделей Маркова дає змогу точно відтворити трансмісію вірусу, стадії захворювання, наявність супутніх захворювань та безсимптомних переносників.

Автори зазначають, що модель була успішно використана для передбачення щоденної динаміки госпіталізацій у відділенні інтенсивної терапії через COVID-19 у місті Парана (Аргентина). Вона адекватно передбачає зайнятість ліжок, не перевищуючи 90% загальної ємності. Окрім того, модель точно репродукує інші епідеміологічні змінні, такі як кількість смертей, випадки захворювання та безсимптомні переносники. Однак модель не

враховує історичні та інші соціально-економічні чинники, що впливають на поведінку суспільства та дають змогу моделювати реакції суспільства на події та передбачити їхні можливі наслідки.

У дослідженні [6] представлено застосування інформаційної технології предметно-орієнтованого математичного моделювання (DSMM) для створення моделей процесів системної інженерії. Основна ідея технології полягає у визначенні онтологічної метамоделі процесу та наданні концептам у цій онтології предметних атрибутів, що описують зміну стану моделі. Модель процесу розглядається як скінчений автомат, що керує порядком переходів станів системної онтології.

Автори використовують машину Мілі для формального визначення граматики метамоделі процесів, включаючи вхідний і вихідний алфавіт, початковий стан, функцію зміни стану та вихідну функцію. Для управління виконанням процесів пропонується підхід, який поєднує декларативні умови граматики з функціями, що визначають дозволи на дії користувачів інструмента DSMM. Цей підхід ілюструє програмну реалізацію поведінки скінченого автомата. Однак у дослідженні наведено лише підходи до застосування DSMM-технології у системній інженерії, що не є вичерпним висвітленням задачі з моделювання реакцій суспільства на події та передбачення їхніх можливих наслідків.

Виходячи з наукових джерел, автомат Мура [1] – це модель, що складається з обмеженого числа станів, переходів між ними та виходів, які пов'язані з кожним станом.

Виходячи з визначення, представимо автомат Мура для моделювання суспільства так.

1. Стан – являє собою певний етап або стадію розвитку суспільства. Наприклад, «економічний зріст», «політична стабільність», «соціокультурна зміна» тощо.

2. Перехід – відображає зміну взаємодії у суспільстві. Наприклад, перехід зі стану «економічний зріст» до стану «економічний спад» може відбутися після настання певних економічних умов.

3. Вихід (вихідний сигнал) – вихідні дії, що відповідають кожному стану, або результати. Наприклад, у стані «соціокультурна зміна» можуть бути активізовані програми освітньої та культурної підтримки.

4. Вхід (вхідний сигнал) – відображає зовнішні впливи, які спричиняють зміни в суспільстві. Наприклад, зміни в політиці, економіці або технологіях.

Найпростіша структура автомата Мура для моделювання стану суспільства, побудована під час дослідження, має такий вигляд.

1. Стани:

- економічний зріст;
- економічний спад;
- політична стабільність;
- політична нестабільність;
- соціокультурна стабільність;
- соціокультурна зміна.

2. Переходи:

- перехід з «економічного росту» до «економічного спаду» може відбутися, якщо вхідний сигнал «економічна криза»;
- перехід із «політичної стабільності» до «політичної нестабільності» може відбутися, якщо вхідний сигнал «політичні заворушення».

3. Входи:

- економічні зміни;
- політичні події;
- культурні зміни.

4. Виходи:

- у стані «соціокультурна зміна» може бути вихідна дія «зміна освітньої програми».

Додамо до базової структури стани: військовий стан, політична криза, революція, втома від війни, страх поразки. Також додамо входи: допомога союзників, підвищення національної свідомості, зростання виробництва зброї, розширення економічних зв'язків. Отримаємо таку оновлену структуру автомата Мура:

1. Стани:

- економічний зріст;
- економічний спад;
- політична стабільність;
- політична нестабільність;
- соціокультурна стабільність;
- соціокультурна зміна;
- військовий стан;
- політична криза;
- революція;
- втома від війни;
- страх поразки.

2. Переходи:

- перехід з «економічного росту» до «економічного спаду» може відбутися через вхідний сигнал «економічна криза»;
- перехід із «політичної нестабільності» до «військового стану» може відбутися через вхідний сигнал «загроза війни»;
- перехід із «політичної нестабільності» до «політичної кризи» може відбутися через вхідний сигнал «корупційний скандал».

## 3. Входи:

- економічні зміни;
- політичні події;
- культурні зміни;
- загроза війни;
- корупційний скандал;
- допомога союзників;
- підвищення національної свідомості;
- зростання виробництва зброї;
- розширення економічних зв'язків.

## 4. Виходи:

- у стані «соціокультурна зміна» може бути вихідна дія «зміна освітньої програми»;
- у стані «військовий стан» може бути вихідна дія «мобілізація військових резервів»;
- у стані «політична криза» може бути вихідна дія «відставка уряду».

Аналітично визначимо, що підвищення національної свідомості може призвести до декількох станів залежно від контексту та взаємодій інших чинників у створеній моделі:

1. Зміна у стані «соціокультурна зміна» може призвести до переходу в стан «соціокультурна зміна», оскільки підвищення національної свідомості може сприяти змінам у культурних та соціальних цінностях суспільства.

2. Збільшення національної свідомості може також вплинути на політичні процеси. Це може призвести до змін у політичних установах, включаючи вибори та політичну активність громадян.

3. У певних випадках підвищення національної свідомості може підштовхнути суспільство до збільшення воєнних зусиль або росту виробництва військової техніки, що може призвести до переходу в стан «військовий стан».

4. Підвищення національної свідомості може вплинути на споживчу поведінку та економічні рішення. Наприклад, може збільшитися попит на товари, які вважаються «національними».

5. У деяких випадках, якщо підвищення національної свідомості супроводжується поглибленою політичною дискусією або протистоянням, це може викликати політичну кризу.

Для визначення ймовірнісних переходів та характеристик моделі автомата Мура суспільства України можна розглянути різні історичні аспекти та події, наприклад такі:

1. В Україні відбулися кілька революцій [7], таких як Революція гідності (Євромайдан), Гетьманщина, Кримське повстання. Аналізуючи ці події, можна визначити ймовірність виникнення подібних станів «політична криза» або «революція» у даній моделі.

2. Історія України пов'язана з численними конфліктами та війнами, включаючи російсько-українську війну [8]. Вхідні сигнали, які вказують на загрозу війни або зміну воєнних зусиль, можуть бути пов'язані з історичними прецедентами.

3. Україна має складну історію формування національної ідентичності [9]. Важливі моменти, такі як проголошення незалежності, можуть впливати на переходи до стану «політична стабільність» або «соціокультурна зміна».

4. Економічні спади та кризи також були важливими періодами історії України [10]. Вони можуть визначати переходи між «економічним ростом» та «економічним спадом».

5. Історія України включає у себе численні зовнішні впливи, такі як колонізація, війни та дипломатичні стосунки [11]. Ці впливи можуть відобразитися у вхідних сигналах та впливати на переходи між різними станами.

Попередній підрахунок ймовірнісного графу переходів створеного автомата Мура з урахуванням раніше зазначених станів та вхідних сигналів такий:

1. Початковий стан: «економічний зріст».

2. Перехід з «економічного росту» до «економічного спаду»:

– ймовірність: 0,2 (20%);

– вхідний сигнал: «економічна криза».

3. Перехід із «політичної стабільності» до «військового стану»:

– ймовірність: 0,1 (10%);

– вхідний сигнал: «загроза війни».

4. Перехід із «політичної нестабільності» до «політичної кризи»:

– ймовірність: 0,3 (30%);

– вхідний сигнал: «корупційний скандал».

5. Перехід із «військового стану» до «політичної стабільності»:

– ймовірність: 0,2 (20%);

– вхідний сигнал: «відновлення дипломатичних відносин».

6. Перехід із «військового стану» до «політичної кризи»:

– ймовірність: 0,3 (30%);

– вхідний сигнал: «загострення конфлікту».

7. Перехід із «військового стану» до «революції»:

– ймовірність: 0,1 (10%);

– вхідний сигнал: «підтримка громадян».

8. Перехід із «військового стану» до «військового стану»:

– ймовірність: 0,2 (20%);

– вхідний сигнал: «збільшення поставок зброї».

9. Перехід із «втоми від війни» до «соціокультурної стабільності»:

– імовірність: 0,3 (30%);

– вхідний сигнал: «відновлення соціокультурних програм».

10. Перехід із «втоми від війни» до «політичної стабільності»:

– імовірність: 0,2 (20%);

– вхідний сигнал: «укладення мирного договору».

11. Перехід із «втоми від війни» до «військового стану»:

– імовірність: 0,2 (20%);

– вхідний сигнал: «продовження бойових дій».

Ураховуючи попередній імовірнісний підрахунок, виділено деякі стани, із яких можна перейти у стан «політична стабільність».

1. Політична криза. Україна в історії зазнавала політичних криз, але також знаходила шляхи до вирішення конфліктів та встановлення стабільності, яка може виявитися у стані «політична стабільність».

2. Економічний спад. Після економічних криз і спадів в Україні відбувалися етапи відновлення та реформ, які, врешті-решт, допомагали досягти політичної стабільності.

3. Постконфліктна реконструкція. Після конфліктів, у тому числі і війн, може наступити фаза відновлення, яка сприяє встановленню стабільності.

4. Домовленості та угоди. Політичні домовленості, угоди між різними силами та групами можуть призвести до стабільності.

5. Зовнішні втручання. Міжнародні посередництва та зусилля міжнародних партнерів можуть сприяти стабілізації політичної ситуації.

6. Демократичні реформи. Упровадження демократичних реформ та змін у політичному

житті може сприяти створенню політичної стабільності.

Виходячи з історичних джерел, виділено деякі стани, із яких модель може перейти у стан «політична нестабільність». Ось деякі можливі варіанти:

1. Економічні кризи та спади можуть впливати на політичну ситуацію, призводячи до нестабільності у владі та суспільстві.

2. Масові протести, невдоволення населення політичною ситуацією, корупцією та іншими чинниками можуть викликати політичну нестабільність.

3. Суперечності під час виборчих кампаній, сумніви в реальності та чесності виборів можуть призвести до збурень та політичної нестабільності.

4. Розкриття великого корупційного скандалу або виявлення системної корупції може спричинити кризу довіри до владних структур.

5. Розбіжності та конфлікти між різними політичними силами можуть призвести до паралічу державних інституцій та нестабільності.

6. Етнічні та релігійні конфлікти можуть вплинути на політичну ситуацію та призвести до нестабільності.

7. Конфлікти з іншими країнами або погіршення міжнародних відносин можуть вплинути на внутрішню політичну ситуацію.

У табл. 1 наведено матрицю переходів побудованого автомату, а цифрами від 1 до 7 позначено номери станів у першому рядку та вхідні сигнали в усіх інших рядках. Вихідні сигнали для кожного переходу можна додати у відповідні комірочки.

Базову структуру автомата Мура змодельовано засобами GPSS для найпростішої моделі суспільства. GPSS (General Purpose Simulation System) – це мова програмування та середовище моделювання для створення та аналізу дискретно-подійних симуляцій [12].

Таблиця 1

Матриця переходів побудованого автомату

Вхідний сигнал / стан	1	2	3	4	5	6	7
Економічна криза	2	–	–	–	–	–	–
Загроза війни	5	–	4	–	5	–	–
Корупційний скандал	–	–	–	4	–	–	–
Підтримка громадян	–	6	–	–	–	–	–
Збільшення поставок зброї	–	–	–	–	5	6	–
Відновлення дипломатичних відносин	3	–	–	–	3	6	7
Відновлення соціокультурних програм	–	–	–	–	–	–	–
Укладення мирного договору	3	–	3	–	3	6	–

Створена модель відображає основні стани суспільства: «спокій», «політична нестабільність» та «політична стабільність». У цій моделі вхідні сигнали моделюються як заявки, які надходять у відповідні стани.

GENERATE 100, 10; генерація вхідних сигналів кожні 100 одиниць часу (з інтервалом + 10).

Start:

QUEUE PeaceState; заявка на перебування у стані «спокій».

SEIZE PeaceResource; захоплення ресурсу для обробки у стані «спокій».

ADVANCE 2, 0; час обробки у стані «спокій» (із можливістю затримки + 0).

RELEASE PeaceResource; звільнення ресурсу.

DEPART PeaceState; видалення заявки з черги після обробки.

TRANSFER 1, UnrestSignal, UnrestState; перехід до стану «політична нестабільність» за відповідного сигналу.

TERMINATE 1; завершення симуляції.

UnrestState:

QUEUE UnrestState; заявка на перебування у стані «політична нестабільність».

SEIZE UnrestResource; захоплення ресурсу для обробки у стані «політична нестабільність».

ADVANCE 3, 0; час обробки у стані «політична нестабільність» (із можливістю затримки + 0).

RELEASE UnrestResource; звільнення ресурсу.

DEPART UnrestState; видалення заявки з черги після обробки.

TRANSFER 1, CalmSignal, PeaceState; перехід до стану «спокій» за відповідного сигналу.

TRANSFER 1, StabilitySignal, StabilityState; перехід до стану «політична стабільність» за відповідного сигналу.

StabilityState:

QUEUE StabilityState; заявка на перебування у стані «політична стабільність».

SEIZE StabilityResource; захоплення ресурсу для обробки у стані «політична стабільність».

ADVANCE 1, 0; час обробки у стані «політична стабільність» (із можливістю затримки + 0).

RELEASE StabilityResource; звільнення ресурсу.

DEPART StabilityState; видалення заявки з черги після обробки.

TRANSFER 1, UnrestSignal, UnrestState; перехід до стану «політична нестабільність» за відповідного сигналу.

TERMINATE 1; завершення симуляції.

Ця модель ураховує можливість переходу між станами «спокій», «політична нестабіль-

ність» та «політична стабільність» відповідно до вхідних сигналів UnrestSignal, CalmSignal та StabilitySignal.

Створені моделі автомата Мура узагальнено та відображують певні аспекти взаємодії різних чинників у суспільстві на основі визначених станів, вхідних та вихідних сигналів. Проте важливо розуміти, що це лише ідеалізована модель, яка спрощує дійсну складність суспільних процесів.

Модель автомата Мура може допомогти зрозуміти можливі зв'язки та взаємодії між різними подіями та чинниками в суспільстві. Вона може слугувати як інструмент для аналізу можливих сценаріїв та наслідків, що можуть виникнути в результаті різних дій та вхідних сигналів.

Проте варто пам'ятати, що реальні суспільні процеси набагато складніші та залежать від безлічі чинників, таких як культурні, історичні, соціальні та індивідуальні особливості. Модель автомата Мура не враховує всіх нюансів та може бути лише одним із можливих підходів до розуміння суспільних явищ.

Таким чином, можливість керованого впливу на суспільство виходячи з цієї моделі визначається її обмеженнями та абстрактністю. Реальний вплив на суспільство є значно складнішим та включає у себе багато інших аспектів, які не враховуються у цій моделі.

Модель автомата Мура, яку ми побудували, є спрощеною абстракцією та не враховує багато реальних та складних аспектів суспільства, наприклад:

1. Модель передбачає стандартизовані переходи та реакції на вхідні сигнали, але в реальності різні люди можуть реагувати по-різному на ті ж самі події через свої унікальні переконання, цінності та досвід.

2. Модель ігнорує багато рівнів та підсистем у суспільстві, таких як релігія, економіка, мас-медіа, освіта тощо, які можуть впливати на рішення та переходи.

3. Реальні суспільні процеси постійно змінюються та взаємодіють між собою, включаючи зворотні зв'язки та нелінійні ефекти, які можуть призвести до непередбачуваних результатів.

4. Модель не враховує міжнародні відносини, геополітичні чинники, міжнародну торгівлю, співпрацю та конфлікти, які можуть суттєво впливати на долю суспільства.

5. Різні культури мають різні норми, традиції та способи мислення, які можуть домінуючим чином визначати реакції на певні події.

6. Модель не враховує історичний досвід та події, які можуть впливати на сприйняття та реакції на події.

7. Модель покладається на досить прогнозовані та детерміновані переходи, але реальне суспільство може бути піддане хаотичним та непередбачуваним процесам.

Для практичного використання розробленої моделі для керованого впливу на суспільство у подальших дослідженнях буде вдосконалено створену модель автомата Мура, щоб вона більш точно відображала реальні суспільні процеси та була здатна визначати потрібний керований вплив.

Задля вдосконалення моделі планується здійснити такі кроки:

1. Урахувати більшу кількість чинників для більш точного відображення суспільних взаємозв'язків.

2. Застосувати ймовірнісні переходи для врахування невизначеності та стохастичних процесів.

3. Урахувати зворотні зв'язки для більшої динамічності.

4. Застосувати нелінійні функції, що може відобразити більш складні взаємодії.

5. Інтегрувати історичні дані для кращого моделювання суспільних подій.

6. Розробити алгоритми керування, які будуть вибирати оптимальний керований вплив залежно від поточного стану системи та вхідних сигналів.

7. Валідація та калібрування моделі для підтвердження її точності та вдосконалення.

Слід зазначити, що одним з основних завдань проведеного дослідження є розширення знань у напрямках: комп'ютерна інженерія; комп'ютерні науки; моделювання процесів; комп'ютерна логіка.

По-перше, у роботі запропоновано використання автомата Мура як інструменту для абстрагованого представлення реальних суспільних явищ. Це має велике значення у комп'ютерній інженерії, оскільки дає змогу розробляти моделі для аналізу та відображення динаміки суспільних процесів, таких як політична нестабільність і стабільність.

По-друге, у дослідженні описано синтез базової структури автомата Мура для представлення різних станів суспільства та переходів між ними. Це допоможе інженерам створити моделі, які можуть аналізувати і передбачати різні сценарії розвитку суспільства, використовуючи інструменти комп'ютерної логіки.

По-третє, у роботі розглянуто статичні ймовірнісні переходи без урахування зворотних зв'язків та нелінійних функцій. Такий вид абстракції може бути корисним фахівцям та здобувачам із комп'ютерних наук для спрощення представлення поведінки суспільства в різних сценаріях.

По-четверте, у роботі продемонстровано практичний підхід до застосування моделі автомата Мура через приклад використання мови програмування та середовища моделювання GPSS. Це дасть змогу інженерам розробити покращені інструменти для аналізу взаємодії між різними станами суспільства.

Проведене дослідження входить у предметну сферу спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», що визначена стандартом [13] у частині: математичні, інформаційні, імітаційні моделі реальних явищ, об'єктів, систем і процесів, предметних областей, подання даних і знань; та спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» [14] у частині: методи та способи опрацювання інформації, математичні моделі обчислювальних процесів, технології виконання обчислень, у тому числі високопродуктивних, паралельних, розподілених, мобільних, веббазованих та хмарних, зелених (енергоєфективних), безпечних, автономних, адаптивних, інтелектуальних, розумних тощо, архітектура та організація функціонування відповідних програмно-технічних засобів.

Наведені у роботі положення дадуть змогу здобувачам, що вивчають та відтворюють результати досліджень, отримати програмні результати навчання спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», що наведені в табл. 2, та спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія», що наведені в табл. 3.

**Висновки.** У дослідженні розглянуто можливість використання моделі автомата Мура для відображення та аналізу динаміки суспільних процесів. Завдяки моделі автомата Мура, що базується на визначених станах, вхідних та вихідних сигналах, була створена спрощена абстракція реальних суспільних явищ. Основний акцент був зроблений на взаємодії різних чинників та визначенні можливих сценаріїв переходів між станами.

Проаналізувавши можливі переходи, вхідні сигнали та характеристики моделі, було виділено декілька ключових пунктів. Перш за все, виявлено, що реальні суспільні процеси набагато складніші, ніж може відобразити абстракція моделі автомата Мура. Також відзначено, що взаємодія різних чинників та переходів може призводити до різних наслідків, а вплив залежить від специфічних умов і контексту.

Таблиця 2

## Програмні результати навчання спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Програмний результат за стандартом	Результат дослідження
Застосовувати знання основних форм і законів абстрактно-логічного мислення, основ методології наукового пізнання, форм і методів вилучення, аналізу, обробки та синтезу інформації в предметній області комп'ютерних наук.	Використання автомата Мура як інструменту для абстрагованого представлення реальних суспільних явищ.
Використовувати знання закономірностей випадкових явищ, їхніх властивостей та операцій над ними, моделей випадкових процесів та сучасних програмних середовищ для розв'язування задач статистичної обробки даних і побудови прогнозних моделей.	Застосування моделі автомата Мура через приклад використання мови програмування та середовища моделювання GPSS.
Проектувати, розробляти та аналізувати алгоритми розв'язання обчислювальних та логічних задач, оцінювати ефективність та складність алгоритмів на основі застосування формальних моделей алгоритмів та обчислюваних функцій.	Синтез базової структури автомата Мура для представлення різних станів суспільства, переходів між ними і передбачення різних сценаріїв розвитку суспільства.
Розробляти програмні моделі предметних середовищ, вибирати парадигму програмування з позицій зручності та якості застосування для реалізації методів та алгоритмів розв'язання задач у галузі комп'ютерних наук.	Розглянуто статичні ймовірнісні переходи без урахування зворотних зв'язків та нелінійних функцій. Такий вид абстракції спрощує представлення поведінки суспільства в різних сценаріях.

Таблиця 3

## Програмні результати навчання спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

Програмний результат за стандартом	Результат дослідження
Мати навички проведення експериментів, збирання даних та моделювання в комп'ютерних системах.	Проведено збір даних про зміни стану суспільства з історичних джерел та експериментально синтезовано структуру автомата Мура для представлення різних станів суспільства, переходів між ними і передбачення різних сценаріїв розвитку суспільства.
Знати та розуміти вплив технічних рішень у суспільному, економічному, соціальному та екологічному контекстах.	Практичне використання мови програмування та середовища GPSS для моделювання стану суспільства.
Уміти здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв'язання задач комп'ютерної інженерії.	Використання історично достовірних джерел для створення базової моделі процесу зміни стану суспільства.
Уміти поєднувати теорію і практику, а також приймати рішення та виробляти стратегію діяльності для вирішення завдань спеціальності з урахуванням загальнолюдських цінностей, суспільних, державних та виробничих інтересів.	Використання автомата Мура як інструменту для абстрагованого представлення реальних суспільних явищ дає змогу передбачати можливі соціально-політичні зміни в Україні, що є актуальним для громадян країни у мінливих умовах міждержавних відносин.

Проведений аналіз указує на важливість постійного вдосконалення та розширення моделі для більш точного та реалістичного відображення суспільних взаємозв'язків. План удосконалення моделі передбачає урахування більшої кількості чинників, імовірнісних переходів, зворотних зв'язків, нелінійних функцій та інтеграцію історичних даних.

Застосування створених моделей може бути корисним інструментом для аналізу можливих сценаріїв та наслідків, що можуть виникнути в результаті різних дій та входних сигналів в Українському суспільстві.

У підсумку це дослідження надає можливість подальшого вдосконалення моделювання суспільних явищ із використанням автомата Мура, сприяючи глибшому розумінню взаємозв'язків та динаміки, що визначають сучасне суспільство.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Kam T., Villa T., Brayton R.K., Sangiovanni-Vincentelli A.L. Synthesis of Finite State Machines: Functional Optimization. *Springer US*, 2013. P. 282.
2. Rahman, H. Social and Political Implications of Data Mining: Knowledge Management in E-government. *Information Science Reference*, 2009. P. 349.



3. Burgin, G.H. (2015). Finite-state Machines as Adaptive Gain Changer in Stability Augmentation Systems. *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, p. 103.

4. Fernández-Isabel A., Peixoto P., de Diego I.M., Conde C., Cabello E. Combining dynamic finite state machines and text-based similarities to represent human behavior. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2019. 85. P. 504–516.

5. Pais C.M., Godano M.I., Juarez E., Del Prado A., Manresa J.B., Rufiner H.L. City-scale model for COVID-19 epidemiology with mobility and social activities represented by a set of hidden Markov models. *Computers in Biology and Medicine*, 2023. 160, 106942.

6. Межуєв В.І. Предметно-орієнтоване моделювання та керування процесами системної інженерії. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2013. № 1. С. 42–46.

7. Скрипник О. Таємний легіон української революції: Книжки українською, українська література. *Strelbytsky Multimedia Publishing*, 2019. С. 320. ISBN: 978-617-605-045-2.

8. Богатирьов І.Г. Російсько-українська війна: погляд кримінолога: присвячується роковинам російсько-української війни. *VD «ADEF-Ukraine»*, 2023. С. 244. ISBN: 978-617-7906-30-7.

9. Аничин Є.М. Українська ідентичність, писана світом: Полтавщина другої половини XIX – початку XX століття. *TOV «ASMI»*, 2022. С. 348. ISBN: 978-966-182-604-4.

10. Фрідріх Г. Шлях до рабства. *Nash Format*, 2022. С. 208. ISBN: 978-617-786-388-4.

11. Дорошко М.С. Історія України: події, постаті, явища. *Samit-knyha*, 2021. С. 472. ISBN: 978-966-986-351-5.

12. Іцхак А. Як подолати кризу управління. «Ранок»: *Фабула*, 2022. С. 272. ISBN: 978-617-094-963-9.

13. Про затвердження стандарту вищої освіти за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. *Міністерство освіти і науки України*. URL: <https://mon.gov.ua/ua/npa/pro-zatverdzhennya-standartu-vishoyi-osviti-za-specialnistyu-122-kompyuterni-nauki-dlya-pershogo-bakalavrskogo-rivnya-vishoyi-osviti> (дата звернення: 22.08.2023).

14. Про затвердження стандарту вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. *Міністерство освіти і науки України*. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/123-kompyuterna-inzheneriya.pdf> (дата звернення: 22.08.2023).

## A DIGITAL AUTOMATON AS A TOOL FOR MODELLING THE STATE OF SOCIETY

### Andrii Perekrest

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer Engineering and Electronics

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, pks13@gmail.com

**ORCID: 0000-0002-7728-9020**

### Kyrylo Vadurin

Postgraduate Student, Assistant at the Department of Computer Engineering and Electronics

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, kir3337@gmail.com

**ORCID: 0000-0001-7781-5783**

### Anna Yudina

Senior Lecturer at the Department of Computer Engineering and Electronics

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Poltava region, Ukraine, 39600, iyusa@ukr.net

**ORCID: 0000-0003-3536-7331**

The paper investigates the possibility of using the Moore's machine model to analyse and display the dynamics of social processes. The study is based on the concept of a Moore automaton as a tool for abstract representation of real social phenomena by defining states, input signals and transitions between states. The main purpose of the study is to reveal the possibilities and limitations of this approach in modelling social processes. First of all, the basic structure of the Moore's automaton is synthesised to reflect different states of society and transitions between them. Then, static probabilistic transitions are studied, without taking into account feedback and nonlinear functions. It is determined that for a more accurate and realistic reflection of social interconnections, it is necessary to detail states, transitions, inputs and outputs based on historical facts. A practical approach to the application of the Moore's machine model is also explored through an example of using the GPSS programming language and modelling environment. This example demonstrates the structure of the model for analysing the interaction between the states of «calm», «political instability» and «political

stability» using the example of inputs. Given the limited abstraction and idealisation, the Moore's machine model proves to be a useful tool for analysing possible scenarios and consequences in society. In the future, the study will be developed to expand the model to take into account more factors, improve control algorithms and integrate historical data to better reflect social events. The basis of this study is the conceptualisation of the use of the Moore's machine for modelling the socio-economic and political environment of Ukraine, in order to predict possible scenarios of development, the emergence of crisis situations and their avoidance.

**Key words:** digital machine, Moore's machine, GPSS, finite automata, process modelling, computer logic.

## REFERENCES

1. Kam, T., Villa, T., Brayton, R.K., Sangiovanni-Vincentelli, A.L. (2013). Synthesis of Finite State Machines: Functional Optimization. *Springer US*, p. 282. [in English].
2. Rahman, H. (2009). Social and Political Implications of Data Mining: Knowledge Management in E-government. *Information Science Reference*, p. 349. [in English].
3. Burgin, G.H. (2015). Finite-state Machines as Adaptive Gain Changer in Stability Augmentation Systems. *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, p. 103. [in English].
4. Fernández-Isabel, A., Peixoto, P., de Diego, I.M., Conde, C., Cabello, E. (2019). Combining dynamic finite state machines and text-based similarities to represent human behavior. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 85, pp. 504–516. [in English].
5. Pais, C.M., Godano, M.I., Juarez, E., Del Prado, A., Manresa, J.B., Rufiner, H.L. (2023). City-scale model for COVID-19 epidemiology with mobility and social activities represented by a set of hidden Markov models. *Computers in Biology and Medicine*, 160, 106942. [in English].
6. Mezhuyev, V. (2013). Domain-Specific Modelling and Control of Processes of System Engineering. *Transactions of kremenchuk mykhailo ostrohradskyi national university*, 1, pp. 42–46. [in Ukrainian].
7. Skrypnyk, O. (2019). Taiemnyi lehiion ukrainskoi revoliutsii: Knyzhky ukrainskoiu, ukrainska literatura. [The Secret Legion of the Ukrainian Revolution: Books in Ukrainian, Ukrainian literature]. *Strelbytskyi Multimedia Publishing*. P. 320. ISBN: 978-617-605-045-2. [in Ukrainian].
8. Bohatyrov, I.H. (2023). Rosiisko-ukrainska viina: pohliad kryminoloha : prysviachuetsia rokovynam rosiisko-ukrainskoi viiny. [The Russian-Ukrainian War: A Criminologist's View : Dedicated to the Anniversary of the Russian-Ukrainian War]. *VD «ADEF-Ukraina»*. P. 244. ISBN: 978-617-7906-30-7. [in Ukrainian].
9. Anychyn, Ye.M. (2022). Ukrainska identychnist, pysana svitlom: Poltavshchyna druhoi polovyny XIX – pochatku XX stolittia. [Ukrainian identity painted with light: Poltava Region in the Second Half of the Nineteenth and Early Twentieth Centuries]. *TOV «ASMI»*. P. 348. ISBN: 978-966-182-604-4. [in Ukrainian].
10. Fridrikh, H. (2022). Shliakh do rabstva. [The road to slavery]. *Nash Format*. P. 208. ISBN: 978-617-786-388-4. [in Ukrainian].
11. Doroshko, M.S. (2021). Istoriia Ukrainy: podii, postati, yavyshcha. [History of Ukraine: events, figures, phenomena] *Samit-knyha*. P. 472. ISBN: 978-966-986-351-5. [in Ukrainian].
12. Ytskhak, A. (2022). Yak podolaty kryzu upravlinnia. [How to overcome the management crisis]. *«Ranok»: Fabula*. P. 272. ISBN: 978-617-094-963-9. [in Ukrainian].
13. Ministry of Education and Science of Ukraine – On approval of the standard of higher education in speciality 122 «Computer Science» for the first (bachelor's) level of higher education. Home | Ministry of Education and Science of Ukraine. URL: <https://mon.gov.ua/ua/npa/pro-zatverdzhennya-standartu-vishoyi-osviti-za-specialnistyu-122-kompyuterni-nauki-dlya-pershogo-bakalavrskogo-rivnya-vishoyi-osviti> [in Ukrainian].
14. Ministry of Education and Science of Ukraine – On approval of the standard of higher education in speciality 123 «Computer Engineering» for the first (bachelor's) level of higher education. Home | Ministry of Education and Science of Ukraine. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/123-kompyuterna-inzheneriya.pdf> [in Ukrainian].

Стаття надійшла 06.06.2023