

# Агентно-орієнтоване моделювання процесів на фондовому ринку

---

**Гужва Володимир Михайлович,**  
к.е.н., доцент, кафедри інформаційних систем в  
економіці

**Державний вищий навчальний заклад  
“Київський національний економічний  
університет ім. Вадима Гетьмана”**

**м. Черкаси  
19-21 травня 2010 р.**

# Агентно-орієнтоване моделювання процесів на фондовому ринку

---

- **1. Моделювання як спосіб вирішення проблем в реальному світі**
- **2. Рівні абстракції в імітаційному моделюванні**
- **3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні**
- **4. Агентно-орієнтоване моделювання діяльності на фондовому ринку**
- **5. Мультиагентна система підтримки прийняття рішень при торгівлі акціями**

# 1. Моделювання як спосіб вирішення проблем в реальному світі (частина 1)

---

Одним із способів вирішення проблем, що виникають в реальному світі - у техніці, виробництві, обслуговуванні, маркетингу, фінансах, охороні здоров'я, транспорті тощо – є **моделювання**.

Воно застосовується у тих випадках, коли експерименти з реальними об'єктами/системами або їх прототипування є **неможливими** або ж **дуже дорогими**.

Моделювання дозволяє оптимізувати систему до її реалізації і зазвичай включає в себе такі етапи, як відображення проблеми з реального світу у світ моделей (процес абстракції), аналіз і оптимізацію моделі, знаходження рішення та відображення рішення назад в реальний світ.

Традиційно розрізняють *аналітичне* і *імітаційне* моделювання.

# 1. Моделювання як спосіб вирішення проблем в реальному світі (частина 2)

---

**Аналітична модель** допускає аналітичне рішення, залежність виходу від входу можна реалізувати статично у вигляді, наприклад, електронних таблиць.

**Імітаційну модель** можна розглядати як безліч правил (диференційних рівнянь, карт станів, автоматів, мереж тощо), які визначають, в який стан система перейде в майбутньому із заданого поточного стану.

Імітація тут — **це процес виконання моделі, що проводить її через (дискретні або безперервні) зміни стану в часі.**

# 2. Рівні абстракції в імітаційному моделюванні (частина 1)

## Додатки імітаційного моделювання на шкалі рівня абстракції



# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 1)

## Підходи в імітаційному моделюванні на шкалі рівня абстракції



# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 2)

---

## 1) Системна динаміка

**Системна динаміка** — напрям у вивченні складних систем, поведінка яких досліджується в часі залежно від структури елементів системи і взаємодії між ними, в тому числі – від причинно-наслідкових зв'язків, петель зворотних зв'язків, затримок реакції, впливи середовища і інших (автор - **Д. Форестер**, кінець 1950-х років)

Додатки СД включають

- **економічні,**
- **соціальні,**
- **урбаністичні,**
- **екологічні системи.**

# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 3)

---

Процеси, що відбуваються в реальному світі, в СД представляються в термінах

- **накопичувачів** (*stocks*) (наприклад, матеріальних об'єктів, знань, людей, грошей),

- **потоків** між цими накопичувачами (*flows*) та

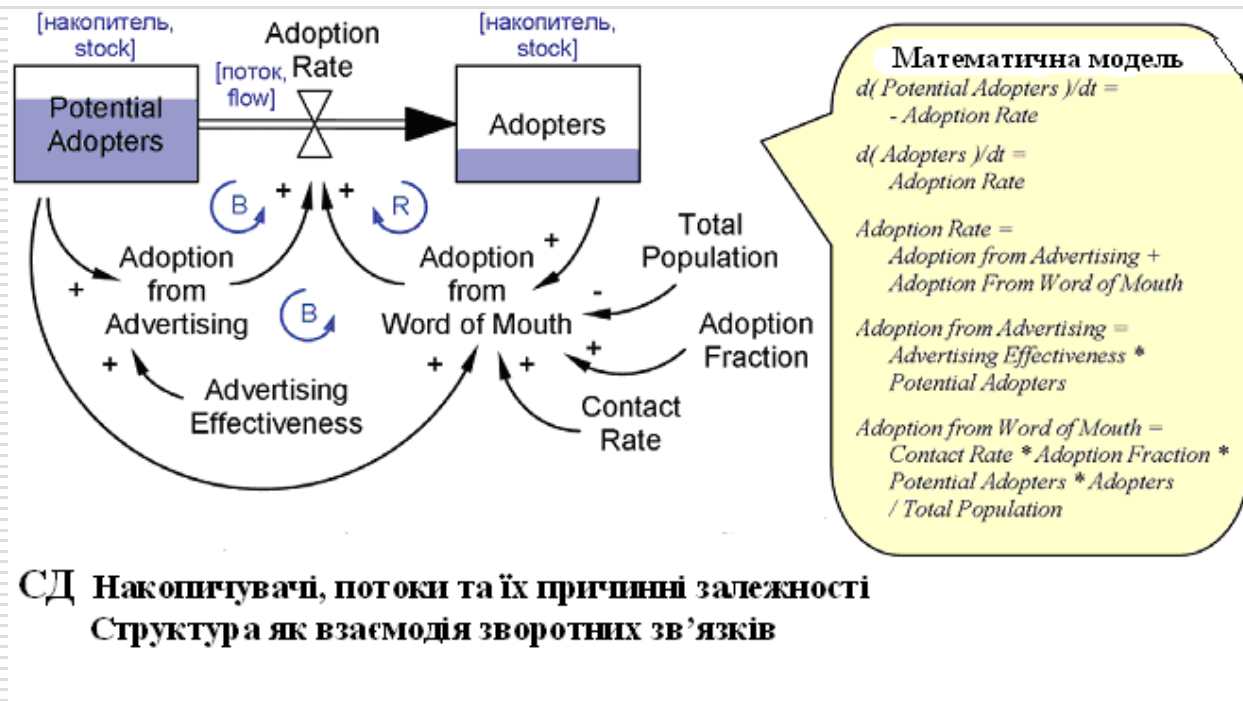
- **інформації**, яка визначає величину цих потоків.

Системна динаміка **абстрагується** від окремих об'єктів і подій і передбачає **агрегатний погляд** на процеси, концентруючись на політиках, що цими процесами керують.



# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 4)

Моделювання на основі СД дозволяє подавати структуру і поведінку системи як безліч **взаємодіючих позитивних і негативних зворотних зв'язків і затримок.**



# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 5)

---

## 2) Динамічні системи

**Динамічна система** — математична абстракція, призначена для опису і вивчення систем, що еволюціонують з часом.

Такі системи моделювання з'явилися задовго до виникнення СД і є, власне, її прообразом. Моделювання ДС використовується інженерами в механіці, електроніці, енергетиці, хімії як частина стандартного процесу розробки.

### 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 6)

---

Відповідна математична модель, як і в разі СД, складатиметься з **набору змінних стану і системи алгебраїчних та диференціальних рівнянь над ними.**

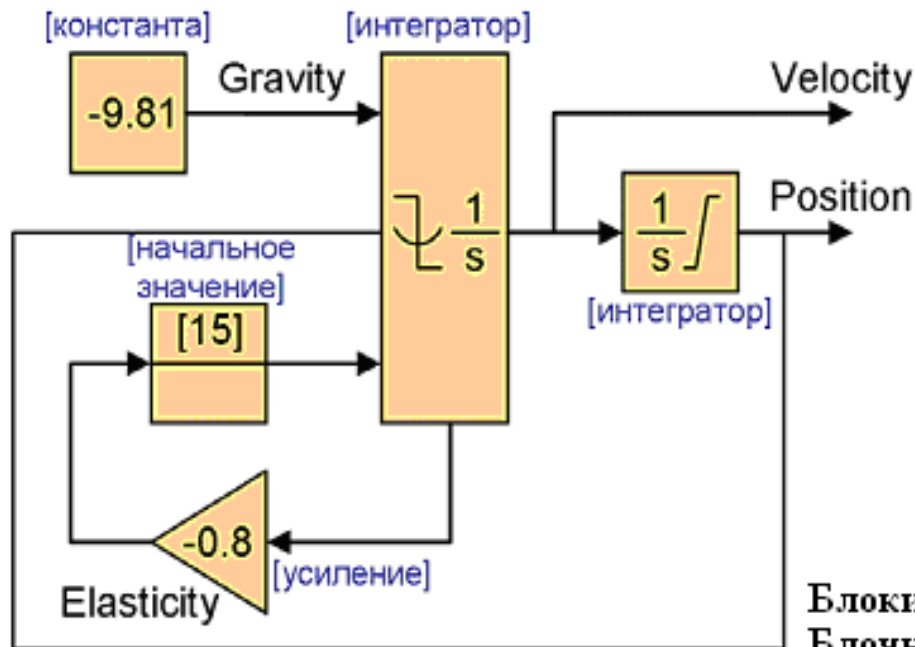
На відміну від СД тут змінні стани мають прямий фізичний сенс: **координата, швидкість, тиск, концентрація тощо.**

Вони, природно, **безперервні і не є агрегатами** (кількостями) дискретних об'єктів.

Математична різноманітність і складність в динамічних системах можуть бути значно вищі, ніж в СД.

# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 7)

## Модель динамічної системи: стрибаючий м'ячик в MATLAB Simulink



Математична модель

$$d(\text{Velocity})/dt = -\text{Gravity}$$
$$d(\text{Position})/dt = \text{Velocity}$$

When( Position  $\leq 0$  and Velocity  $< 0$  )

$$\text{Velocity} = -\text{Elasticity} * \text{Velocity}$$

Блоки (Інтегратор, Підсилювач, Затримка...)  
Блочна діаграма зі зворотніми зв'язками

# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 8)

---

## 3) Дискретно-подійне моделювання

В рамках **дискретно-подійного моделювання** функціонування системи представляється як **хронологічна послідовність подій** (автор - **Дж. Гордон**, в 1960-х роках придумав і розвинув ідею GPSS).

**Подія** відбувається в певний момент часу і знаменує собою **зміну стану системи**.

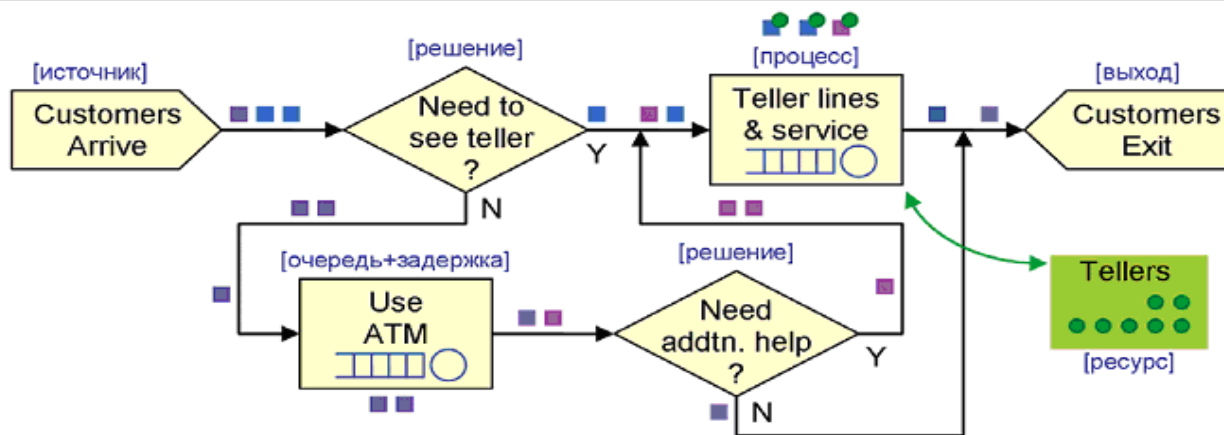
По суті мова йде про підхід, в основі якого лежить концепція

- **заявок (транзактів, entities),**
- **ресурсів і**
- **потоків діаграм (flowcharts), що визначають потоки заявок і використання ресурсів.**

# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 9)

**Заявки** (транзакти в GPSS) — це пасивні об'єкти, що представляють людей, деталі, документи, завдання, повідомлення тощо. Вони "подорожують" через **діаграми потоків** (flowchart), стоячи в чергах, обробляючись, захоплюючи і звільняючи ресурси, розділяючись, з'єднуючись і т.ін.

## Дискретно-подійна модель: відділення банку



ДП Заявки та ресурси (пасивні об'єкти)  
Діаграма із блоків (черги, затримки тощо)

# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 10)

---

## 4) Агентне моделювання

Агентно-орієнтована модель (АОМ) - *спеціальний клас обчислюваних моделей, що базуються на індивідуальній поведінці агентів та створюються для комп'ютерних симуляцій.*

В основі агентно-орієнтованих моделей лежать три основні ідеї:

- **1) об'єктна орієнтованість;**
- **2) здатність агентів до навчання (або їх еволюція);**
- **3) складність обчислень.**

# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 11)

---

Основними властивостями агентів в АОМ є:

- 1) **інтелектуальність**. В той же час, ця властивість має бути помірною для того, щоб агенти не могли пізнати щось більше, що виходить за рамки правил гри;
- 2) **наявність життєвої мети**;
- 3) **розташування в часі і просторі**. Мається на увазі деяке «місце існування», яке може бути представлена і у вигляді ґрат, так і у вигляді набагато складнішої структури. Інколи результат взаємодії агентів в «місці існування» - рівновага, інколи - безперервний процес еволюції, а інколи - нескінченний цикл без певного рішення.



# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 12)

---

Вважається, що АОМ доповнюють традиційні аналітичні методи.

Останні дозволяють нам **охарактеризувати рівновагу системи,**

а АОМ - **досліджувати можливість отримання такого стану.**

АОМ можуть пояснити причину виникнення таких явищ, як: терористичні організації, війни, обвалення ринку акцій та ін.

В ідеалі АОМ можуть допомогти ідентифікувати критичні моменти часу, після настання яких надзвичайні наслідки матимуть незворотній характер.

# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 13)

---

У цих та інших додатках стратегії поведінки визначаються з урахуванням поведінки безлічі індивідуальних агентів-атомів і їх взаємодій.

Таким чином, **АОМ можуть допомогти у вивченні впливу індивідуальної поведінки агентів на еволюцію всієї системи.**

# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 14)

---

На відміну від системної динаміки або дискретно-подійних моделей **в рамках агентно-орієнтованого моделювання не існує такого місця, де б централізовано визначалася поведінка (динаміка) системи в цілому.**

Замість цього аналітик визначає поведінку на індивідуальному рівні, а глобальна поведінка виникає (emerges) як результат діяльності багатьох (десятків, сотень, тисяч, мільйонів) агентів, кожен з яких слідує своїм власним правилам, живе в загальному середовищі і взаємодіє з середовищем і з іншими агентами.

Тому АМ називають ще моделюванням від низу до верху.

# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 15)

## Типова архітектура агентної моделі. Поведінка (карта станів) в пакеті AnyLogic



# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 16)

---

**Приклади відомих агентно-орієнтованих моделей**

## **1) Інститут Санта-Фе (США)**

- АОМ гра "Життя"
- Цукрова модель (Д. Епштейн та Р. Екстел)
- Модель сегрегації Шелінга
- Модель "Теплові жуки"
- Модель аналізу роздрібного ринку бензину у графстві Західний Йоркшир
  - АОМ модель SEAS для обробки сценаріїв військових сутичок та локальних конфліктів

# **3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 17)**

---

**2) Лабораторія штучних спільнот (Росія, керівник – академік В.Л. Макаров)**

**- АОМ зі штучними спільнотами, що приймають рішення про витрати**

**- АОМ зі штучними спільнотами, що приймають рішення про пошук роботи**

# 3. Стислий огляд основних підходів в імітаційному моделюванні (частина 18)

---

**Приклади програмного забезпечення для реалізації агентно-орієнтованих моделей**

**1) SWARM – універсальний пакет прикладних програм (Інститут Санта-ФЕ)**

**2) MASON – пакет, розроблений в університеті Джорджа Мейсона (США) – реалізовані моделі - гра "Життя", Цукрова модель та ін.**

**3) SOARS – програмний продукт Токійського університету**

**4) AnyLogic – продукт російської компанії ТОВ «Екс Джей Текнолоджис»**

# 4. Агентно-орієнтоване моделювання діяльності на фондовому ринку (частина 1)

---

Зазвичай фінансові ринки вивчались та досліджувались на основі використання аналітичної математики, що опирається на узагальнення учасників ринку та інші спрощення і ідеалізації.

Однак поведінка фондового ринку не може бути повністю описана такими математичними моделями.

**Фактично ціни на ринку встановлюються за участі великої кількості інвесторів з різними методами прийняття рішень та інвестиційними цілями.**



# 4. Агентно-орієнтоване моделювання діяльності на фондовому ринку (частина 2)

Суть використання агентно-орієнтованої моделі на фондовому ринку зводиться до того, що

**така модель приймає котирування фондових інструментів та генерує цінові прогнози,**

а

**торгівельна система вирішує, коли необхідно давати новий торговий сигнал на купівлю/продаж на основі прогнозів та торговельних уподобань користувача.**



## 4. Агентно-орієнтоване моделювання діяльності на фондовому ринку (частина 3)

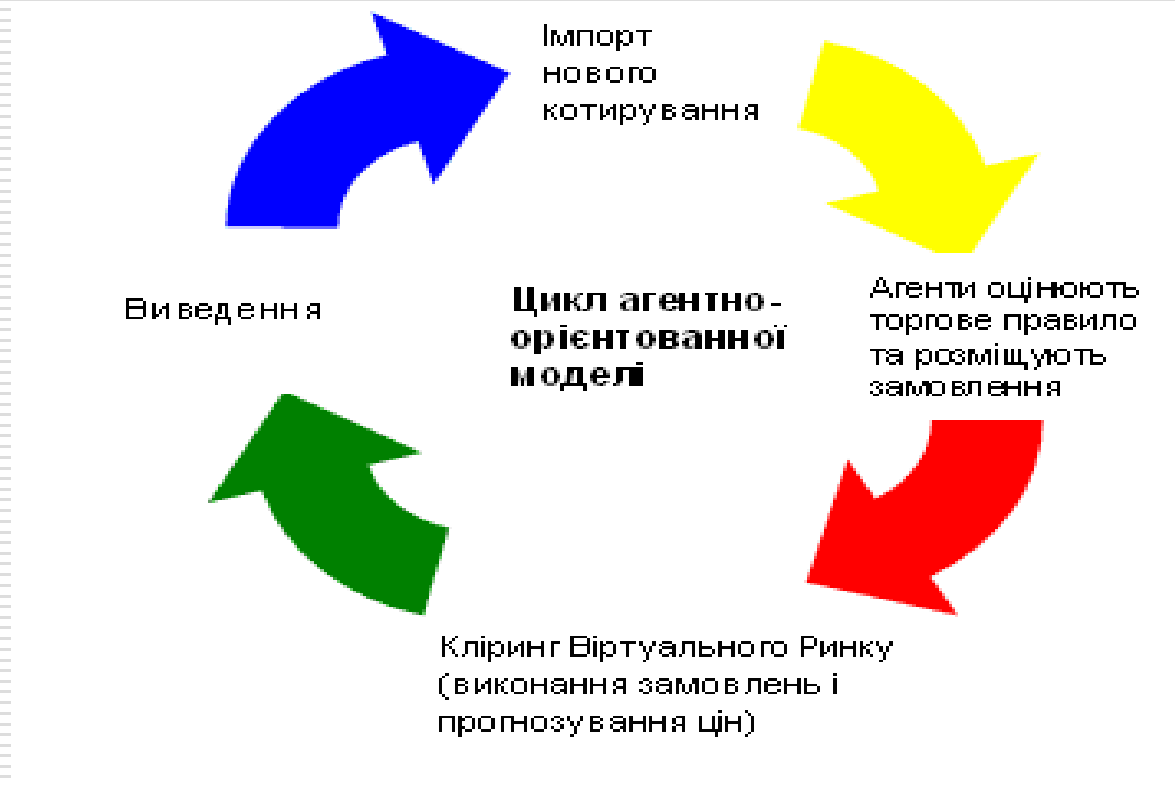
---

**Агентно-орієнтована модель (АОМ) фондового ринку – це**  
**сукупність (популяція) агентів**  
+  
**віртуальний ринок (ВР),**  
де агенти можуть торгувати цінними паперами.

**Агент** - **автономна сутність, що представляє трейдера (або інвестора) зі своїми власними активами (у грошовій формі та/або у формі цінних паперів) та своєю власною торгівельною стратегією.**

# 4. Агентно-орієнтоване моделювання діяльності на фондовому ринку (частина 4)

## Цикл функціонування АОМ фондового ринку



# 4. Агентно-орієнтоване моделювання діяльності на фондовому ринку (частина 5)

---

## Алгоритм роботи АОМ

1) Отримавши новий набір котирувань (прайс-лист), агенти проводять оцінку та можуть розмістити нові накази на купівлю/продаж чи залишитися неактивними в залежності від власної торгової стратегії.

2) Після того, як всі агенти оцінять свою торговельну стратегію, віртуальний ринок визначає ціни посередництва (клірингові ціни або ціни ВР), виконує всі виставлені накази щодо купівлі/продажу та представляє прогноз цін на наступний період.

3) І на завершення здійснюється виведення нових агентів (за допомогою генетичних операторів – селекції, кросоверу (схрещування) та мутації) та заміна ними неефективних представників поточної популяції агентів. Цей процес повторюється після надходження наступного набору котирувань.

# 4. Агентно-орієнтоване моделювання діяльності на фондовому ринку (частина 6)

---

Самоорганізація агентів через еволюцію і результуюча динаміка цін навчає модель визначати та передбачати зміну структури ціни, адаптуючись до зміни поведінки ринку.

Еволюція моделі ніколи не закінчується. Коли всі наявні історичні ціни були оброблені, модель очікує на те, щоб нові цінові дані стали доступними, а потім розвивається далі.

Модель може еволюціонувати паралельно з реальним світовим фондовим ринком.

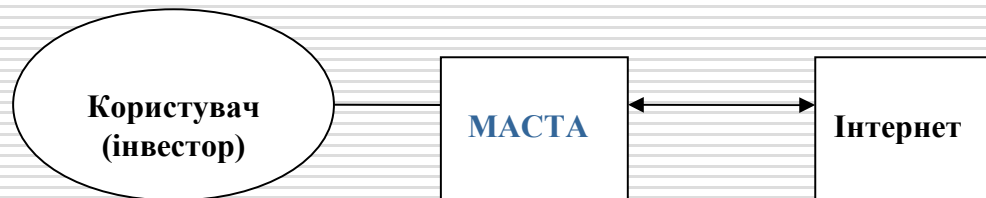
# 4. Агентно-орієнтоване моделювання діяльності на фондовому ринку (частина 7)

## Інструмент АОМ моделювання фондового ринку Adaptive Modeler



# 5. Мультиагентна система підтримки прийняття рішень при торгівлі акціями (частина 1)

**Мультиагентних систем підтримки прийняття рішень при торгівлі акціями (МАСТА)** - система-посередника, розташована між стороною запиту інформації (тобто інвесторами на фондовому ринку) та стороною постачання інформації (тобто Інтернетом).



МАСТА призначена для:

- **1) пошуку інформації про акції;**
- **2) моніторингу статусу акцій та управління ризиками;**
- **3) підтримки прийняття рішень при купівлі-продажу акцій.**

# 5. Мультиагентна система підтримки прийняття рішень при торгівлі акціями (частина 2)

## Функціональна схема МАСТА

