

ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТРАНСПОРТНИХ  
ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ

**Тема 14 Пропускна, провізна та переробна спроможності  
транспортних ліній**

Мацюк Вячеслав Іванович,  
д.т.н., професор

# План теми

1. Введення з методологію математичного моделювання транспортних процесів і систем
2. Оптимальне, раціональне та ефективне рішення
3. Аналітичні та імітаційні моделі, їх переваги та недоліки
4. Принципова різниця аналітичних та імітаційних моделей, як інструментів оптимізації транспортних процесів
5. Програмне середовище розробки імітаційних моделей AnyLogic

# 1. Введення з методологію математичного моделювання транспортних процесів і систем



Всі етапи розробки моделі - проекція реального світу на світ моделей, вибір рівня абстракції і вибір мови моделювання - менш стандартизовані, ніж процес використання моделей для вирішення задач. Моделювання досі більше мистецтво, ніж наука.

# 1. Введення з методологію математичного моделювання транспортних процесів і систем

Залежно від поставленого завдання, способу розробки і предметної області розрізняють безліч типів моделей:

<b>За областю використання</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• навчальні, дослідницькі, ігрові, імітаційні, науково-дослідні;</li></ul>
<b>За часовим фактором</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• статичні і динамічні;</li></ul>
<b>За формою представлення</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• математичні, геометричні, словесні, логічні, спеціальні (ноти, хімічні формули і т.п.);</li></ul>
<b>За способом представлення</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• інформаційні (нематеріальні, абстрактні) і матеріальні;</li></ul>

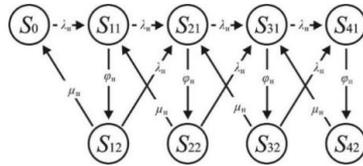
# 1. Введення з методологію математичного моделювання транспортних процесів і систем

**Ментальна модель:**  
представлення «в умі» про те,  
як це працює



**Математична модель:**  
опис (формалізація) того, як це працює,  
за допомогою набору умовних символів  
та особливих методологій:

**графічна  
інтерпретація станів  
системи масового  
обслуговування**



**аналітична  
інтерпретація станів  
системи масового  
обслуговування**

$$\begin{aligned}
 P_{12}\mu_n &= P_0\lambda_n, \\
 P_0\lambda_n + P_{22}\mu_n &= P_{11}\lambda_n + P_{11}\varphi_n, \\
 P_{12}\lambda_n + P_{12}\mu_n &= P_{11}\varphi_n, \\
 P_{11}\lambda_n + P_{32}\mu_n + P_{12}\lambda_n &= P_{21}\lambda_n + P_{21}\varphi_n, \\
 P_{21}\varphi_n &= P_{22}\lambda_n + P_{22}\varphi_n, \\
 P_{31}\lambda_n + P_{31}\varphi_n &= P_{21}\lambda_n + P_{42}\mu_n + P_{22}\lambda_n, \\
 P_{32}\lambda_n + P_{32}\varphi_n &= P_{31}\varphi_n, \\
 P_{31}\lambda_n + P_{32}\lambda_n &= P_{41}\lambda_n, \\
 P_{42}\lambda_n &= 2P_{41}\varphi_n, \\
 P_0 + P_{11} + P_{12} + P_{21} + P_{22} + P_{31} + P_{32} + P_{41} + P_{42} &= 1.
 \end{aligned}$$

**Фізична модель: копія  
(зменшена і ін.) Реального  
фізичного об'єкта. Копія того,  
як це працює.**



# 1. Введення з методологію математичного моделювання транспортних процесів і систем

Ключовим для оцінки транспортних процесів і системи є математичне моделювання. Формальна класифікація математичних моделей ґрунтується на класифікації використовуваних математичних засобів:

1	<ul style="list-style-type: none"><li>• лінійні</li><li>• нелінійні</li></ul>
2	<ul style="list-style-type: none"><li>• статичні</li><li>• динамічні</li></ul>
3	<ul style="list-style-type: none"><li>• детерміновані</li><li>• стохастичні (ймовірні)</li></ul>
4	<ul style="list-style-type: none"><li>• дискретні</li><li>• безперервні</li></ul>
5	<ul style="list-style-type: none"><li>• аналітичні</li><li>• імітаційні (симуляція)</li></ul>

***«По суті, моделювання є пошуком рішення задачі в захищеному від ризику світі моделей, в якому ми можемо помилятися, скасовувати операції, повертатися в минуле і починати все спочатку».***

***(C) AnyLogic***

# 1. Введення з методологію математичного моделювання транспортних процесів і систем



**Головним завданням** при вивченні систем є відповідь на множину питань типу «... що буде із системою як що ... ?».

Отже головною **метою** моделювання процесів та систем є визначення наслідків впливу на об'єкт і прийняття правильного рішення у безпечному середовищі моделювання.



## 2. Оптимальне, раціональне та ефективне рішення



## 2. Оптимальне, раціональне та ефективне рішення

*Оптимальне* (від лат. *Optimus* - найкращий) рішення - рішення, яке з тих чи інших обставин найкращим за всі інші.

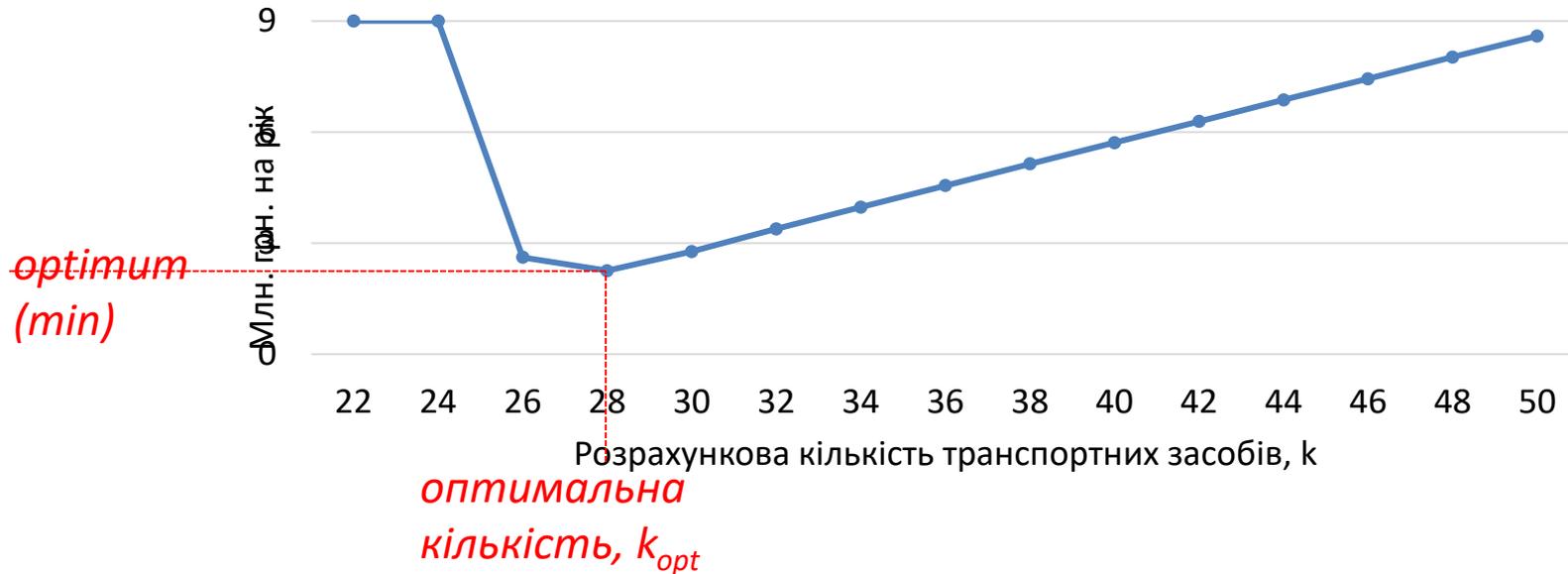
У техніці оптимальний (варіант, рішення, вибір та ін.) - найкращий (варіант, рішення, вибір, ...) серед допустимих при наявності правила переваги одного іншому. Таке правило називається критерієм оптимальності, а мірою переваги будуть служити показники якості. Можна говорити про оптимальний варіант тільки при задоволенні двох умов:

1. наявності хоча б одного критерію;
2. наявності не менше двох порівнюваних варіантів (необхідність здійснення вибору).



## 2. Оптимальне, раціональне та ефективне рішення

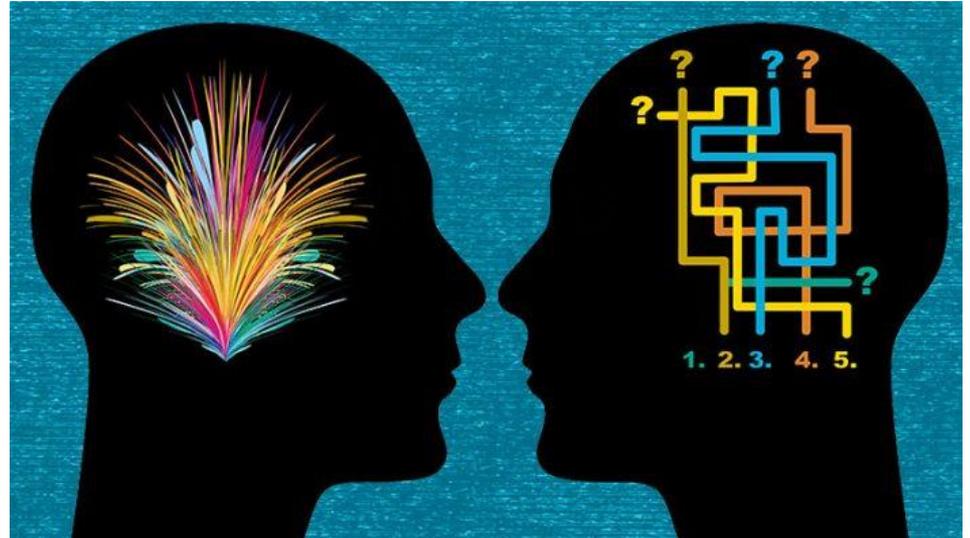
Критерій оптимізації – сукупні операційні витрати, млн. грн на рік (обмежено значенням 9).



## 2. Оптимальне, раціональне та ефективне рішення

*Раціональність* (від лат. Ratio - розум) - термін, в самому широкому сенсі означає розумність, свідомість, протилежність ірраціональності. Ця категорія є близьким по значенню поняттям «здоровий глузд», «розумний підхід». У розрізі даної теми: науковий підхід через встановлення закономірностей при вивченні причино-наслідкових зв'язків.

На вибраний показник (*результат, наслідок*) найбільше впливає (*причина*) кількість транспортних засобів.



## 2. Оптимальне, раціональне та ефективне рішення

*Ефективність* (лат. *Efficientia*) - співвідношення між досягнутим результатом і використаними ресурсами (ISO 9000 діє до: 2015). Має найширше застосування у прикладних процесах, у тому числі транспортних, оскільки включає в себе і оптимальність і раціональність.

Під ресурсами можна використовувати будь-які виробничі ресурси, наприклад активи підприємств: капітал, вагонний парк, локомотивний парк, інвестиції, робочий час робітників та інше, виробничий час.

Під результатом – кінцевий критерій ефективності: операційні витрати, собівартість, фактичне задіяння вагонів або локомотивів, витрачений час, отримана переробна, пропускна або провізна спроможності, тощо.

ЭФФЕКТИВНОЕ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
КНУТА  
СУЩЕСТВЕННО  
ЭКОНОМИТ  
ПРЯНИКИ.

## 2. Оптимальне, раціональне та ефективне рішення



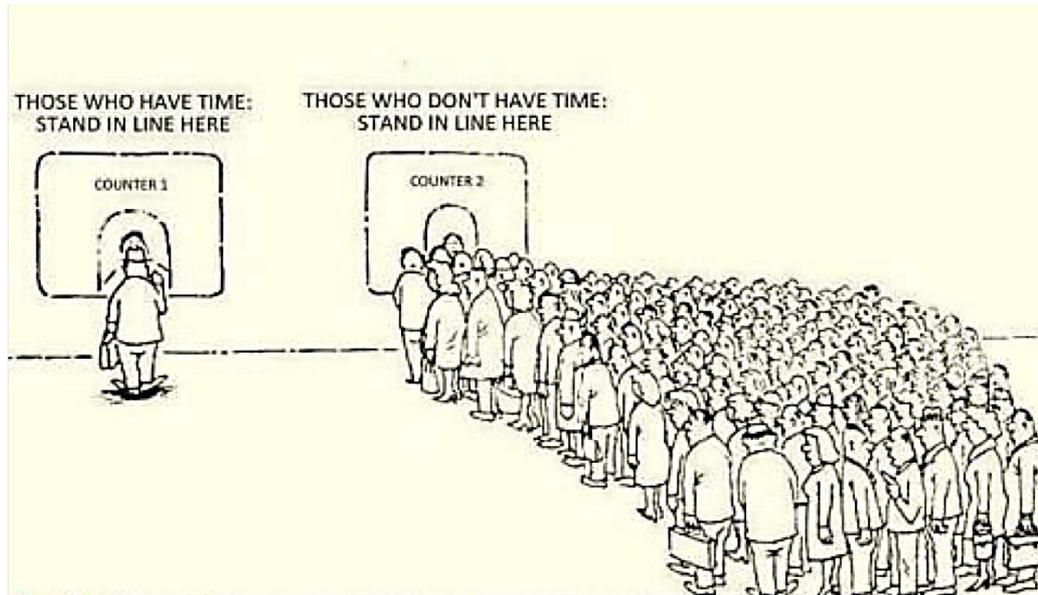
*«Eine gute Theorie ist das Praktischste was es gibt»*

*Gustav Robert Kirchhoff*

*«Немає нічого практичніше за гарну теорію»  
Роберт Кірхгоф (1824-1887), німецький фізик*

### 3. Аналітичні та імітаційні моделі, їх переваги та недоліки

Деякі аналітичні методи дозволяють досить обмежено оцінити (змоделювати) динамічні системи. Наприклад Теорія масового обслуговування (Queueing Theory).





### 3. Аналітичні та імітаційні моделі, їх переваги та недоліки

**Крім того:**

- 1) далеко не кожен процес можна описати експонентними розподілом. Безліч процесів описується тільки розподілом Ерланга (Гамма-розподілом), Вейбула, Нормальним та ін.;
- 2) як регулювати і враховувати місця в черзі, в кількості 10, 100,  $10^9$ ?
- 3) як вивчати багатofазні процеси обслуговування?
- 4) як комплексно вивчити взаємодію СМО. Перехрестя: 5 - 10 СМО, великий контейнерний термінал - сотні СМО. Один транспортний вузол - тисячі СМО?



**Головна група питань «що буде якщо ...?»  
часто залишається без відповіді ...**

### 3. Аналітичні та імітаційні моделі, їх переваги та недоліки

Далеко не кожний транспортний (логістичний) процес можна формалізувати у «явному» вигляді:

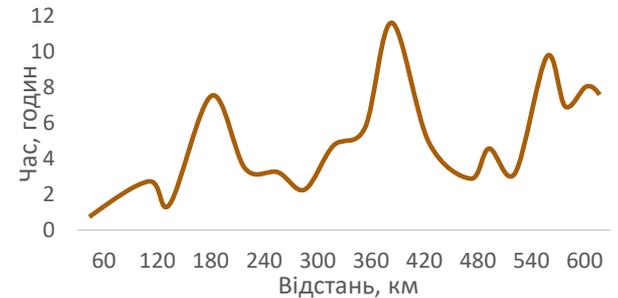
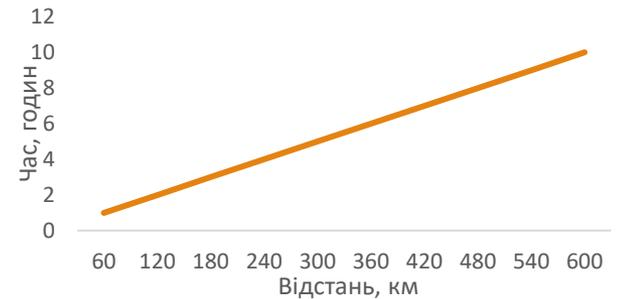
$$t = \frac{L}{v}, \text{ при } v - \text{const.}$$

Якщо  $v = 60$  км/год, то при  $L = 90$  км  $t = 1.5$  год.

Якщо формалізувати не можливо, або дуже складно описати аналітично, функцію залежності можна представити тільки у «неявному вигляді»:

$$t = f(L, v).$$

Тобто, що із себе представляє  $f()$  – можемо тільки здогадуватись.



### 3. Аналітичні та імітаційні моделі, їх переваги та недоліки

Існує великий клас проблем, коли аналітичного (на основі формули) рішення не існує або його важко знайти. Цей клас, зокрема, включає динамічні системи, що містять:

- Нелінійну поведінку;
- «Пам'ять»;
- Неінтуїтивний вплив між змінними;
- Часові та причинно-наслідкові залежності;
- Все вищевказане поєднується з невизначеністю та великою кількістю параметрів

*Вкрай складна оцінка надійності (відмовостійкості), рівня ризиків і ін. імовірнісних і комплексних (системних) характеристик складних процесів.*

## **4. Принципова різниця аналітичних та імітаційних моделей, як інструментів оптимізації транспортних процесів**

## 4. Принципова різниця аналітичних та імітаційних моделей, як інструментів оптимізації транспортних процесів

### Фідео файл до презентації Теми 4.

Фізична імітаційна [модель](#) процесу (уривок з фільму «Засновник» (The Founder, 2016 г.)).

Брати Річард і Моріс Мак-Доналд (**McDonald**) розповідають підприємцю Рею Кроку (у майбутньому засновнику однієї з найбільших та найуспішніших корпорацій швидкого харчування **McDonald's**) про свою ідею оптимізації (пришвидшенню) технологічного процесу приготування гамбургера у своєму ресторані швидкого харчування. Надалі реалізація цієї ідеї призвела до революції в індустрії швидкого харчування.

У даному уривку наочно демонструється підхід «фізичної імітації» процесу.

За допомогою імітації процесу приготування замовлень у «накресленій на тенісному корті кухні» братам Мак-Доналд вдалось знайти оптимальне розташування кухонного обладнання і в решті зменшити тривалість приготування гамбургерів з 15 хв до 30 секунд при дотриманні стандартів якості.

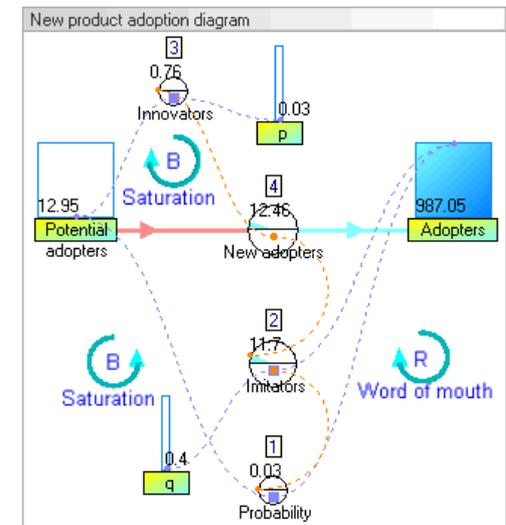
Ключовим є те, що витрати при даних експериментах становили: декілька літрів кави, шматочків крейди та 6 годин часу працівників ресторану!

## 4. Принципова різниця аналітичних та імітаційних моделей, як інструментів оптимізації транспортних процесів

Імітаційна модель процесів в поліклініці



Імітаційна модель процесу додавання нового продукту на ринок



## 4. Принципова різниця аналітичних та імітаційних моделей, як інструментів оптимізації транспортних процесів



Імітаційна модель - це завжди модель, яка «виконується»: ви можете її запустити, і вона побудує вам траєкторію змін стану системи з часом.

## 5. Програмне середовище розробки імітаційних моделей AnyLogic



Спеціалізоване програмне середовище для розробки імітаційних моделей.

Розроблено міжнародною компанією **The AnyLogic Company** із штаб-квартирою у США.

<https://www.anylogic.com/>

## 5. Програмне середовище розробки імітаційних моделей AnyLogic

### Чому AnyLogic?

1. Підтримує розробку моделей відповідно до трьох найбільш розповсюджених принципів імітаційного моделювання:

a) системна динаміка (system dynamics);

b) дискретно-подієвий (discrete-event);

c) агентне моделювання (agent-based),

*і, що дуже важливо, **забезпечує поєднання всіх трьох принципів одразу.***

2. Базується на об'єктно-орієнтовній мові програмування Java (Oracle), що дозволяє використовувати у якості інструментів одну з найбільших в світі бібліотек готових програмних рішень.

3. **The AnyLogic Company** пропонує три варіанти продукту. Доступ до будь-якої версії – умовно безкоштовний (30 днів).



**Дякую за увагу!**