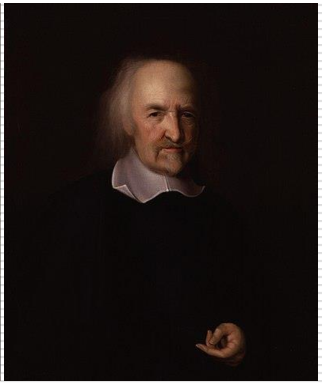
МОДЕЛІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЄКТУВАННЯ КОРОДУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

Завідувач кафедри інформаційних систем
д.т.н., проф. Зеленцов Д.Г.

Коротка історія розвитку штучного інтелекту

Філософські та етичні передумови створення штучного інтелекту



**Р. Декарт “Міркування про метод” (1637 р.),
Т. Гоббс “Людська природа” (1640 р.). Поняття механістичного матеріалізму.**

М. Шеллі «Франкенштейн або сучасний Прометей» (1818 р.)

К. Чапек «Россумскі універсальні роботи» (1920 р.)

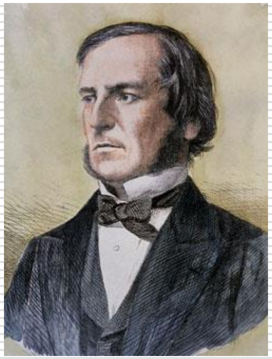
А. Азімов «Досконалий робот», «Двохсотрічна людина», «Сталеві печери» (1940 - 1950 рр.)

Наукові передумови:

Ф. Бекон “Шифр Бекона” (1605 р.). Перша спроба двійкового кодування

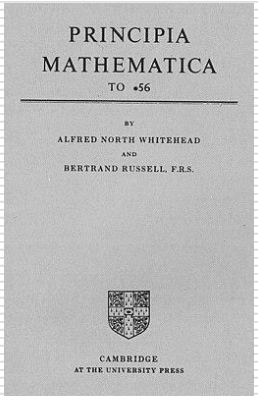
Г.В. Лейбниць “Explication de l’Arithmétique Binaire”. Опис сучасної двійкової системи.

Дж. Буль “Математичний аналіз логіки” (1847 р.). Застосування аналогій між символічним методом алгебри та символічним методом представлення логічних форм та силогізмів.

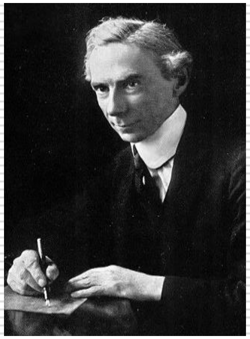


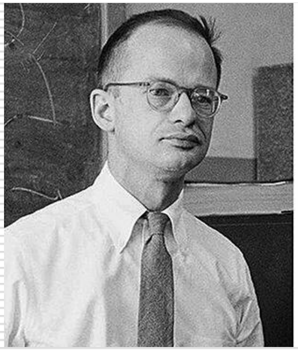
Ф.Л.Г. Фреге “Begriffsschrift” (1879 р.). Винахід та аксіоматизація логіки предикатів.

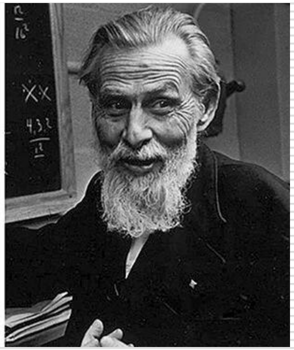
Наукові передумови:



А.Н. Уайтхед, Б.Рассел
«Принципи математики»
(1910 – 1913 рр.)





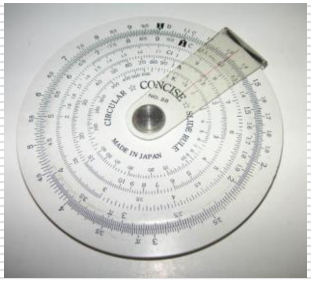


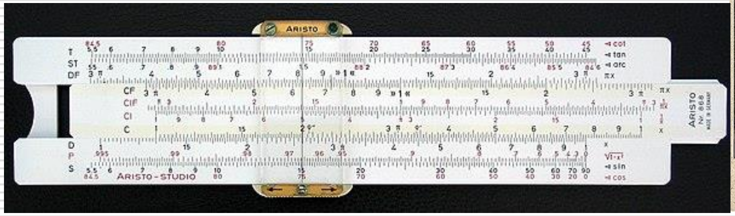
У. Мак-Каллок, У. Піттс «Логічне числення ідей, що відносяться до нервовій активності» (1943 р.).

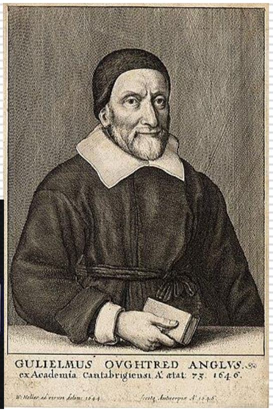
Д. Хебб «Організація поведінки: нейропсихологічна теорія» (1949 р.).

А. Т'юринг «Обчислювальні машини та розум» (1950 р.)

Технологічні передумови:







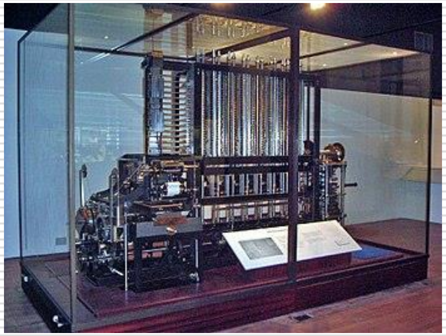
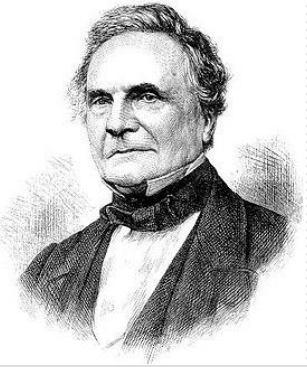
У. Отред (1622 р.). Перша логарифмічна лінійка.

В. Шиккард (1623 р.). “Рахуючий годинник”.

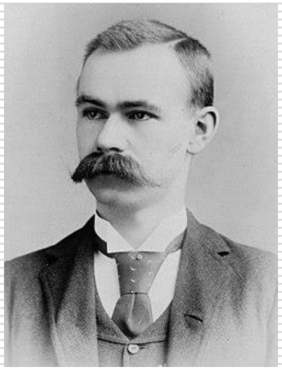
Б. Паскаль (1642 р.).
Арифметична машина “Паскаліна”

Г.В. Лейбніц (1673 р.). Механічний калькулятор.

Технологічні передумови:

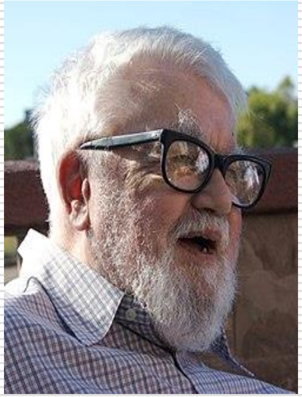

Ч. Беббідж, А. Лавлейс (1846 р.).
Перша універсальна цифрова аналітична обчислювальна машина.



Г. Голлеріт (1890 р.).
Електрична табуляційна система.

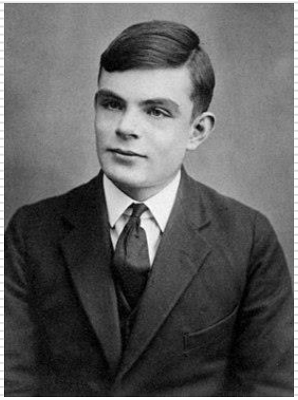
К. Цузе (1941 - 1948 р.).
Перша програмована обчислювальна машина Z3. Мова програмування Plankalkul.


Визначення штучного інтелекту



Штучний інтелект – властивість штучних інтелектуальних систем виконувати творчі функції, які традиційно вважаються прерогативою людини.
Дж. Маккарті, 1956р.

Визначення 1 (50-ти роки XX ст.). Інтелектуальною є система, яка моделює на комп'ютері процес мислення людини.

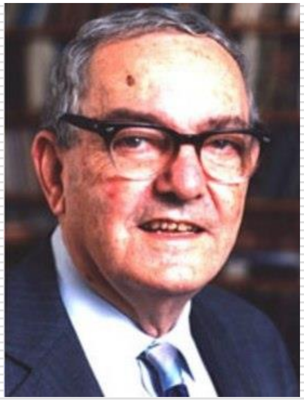


Тест Т'юрінга (1950 р.)

"Людина взаємодіє з одним комп'ютером та одною людиною. На підставі відповідей на запитання вона повинна визначити, с ким вона спілкується: з людиною або з комп'ютерною програмою. Завдання комп'ютерної програми — ввести людину в заблудження, змусив зробити невірний вибір".

Гіпотеза Ньюелла – Саймона (1976 р.)

"Фізична символьна система має необхідні та достатні засоби для виконання основних інтелектуальних операцій".



Визначення штучного інтелекту

Визначення 2 (80-ти роки XX ст.). Інтелектуальною є система, яка дозволяє посилити інтелектуальну діяльність людини шляхом здійснення з нею осмисленого діалогу.

Підходи до розробок інтелектуальних систем

1. **Низхідний (*Top Down AI*) – створення експертних систем, баз знань та систем логічного виведення, які імітують високорівневі психічні процеси: мислення, міркування, мовлення, емоції, творчість тощо.**
2. **Висхідний (*Bottom Up AI*) – розвиток теорії нейронних мереж та еволюційних обчислень, які моделюють інтелектуальну поведінку на основі біологічних елементів; проектування та створення нових обчислювальних систем (нейро- та біокомп'ютерів)**

Визначення 3. Інтелектуальною є система, яка здатна в залежності від змісту вхідної інформації змінювати не тільки параметри функціювання, але й спосіб поведінки. При цьому спосіб поведінки залежить як від поточної інформації, так і від попередніх станів системи.

Моделі представлення знань в системах штучного інтелекту

Класичні моделі

- Логічні
- Семантичні
- Продукційні
- Фреймові

Некласичні ("нові") моделі

- Стохастичні
- Критеріальні
- Нейромережеві
- Нечіткі
- Еволюційні

Нейронні мережі

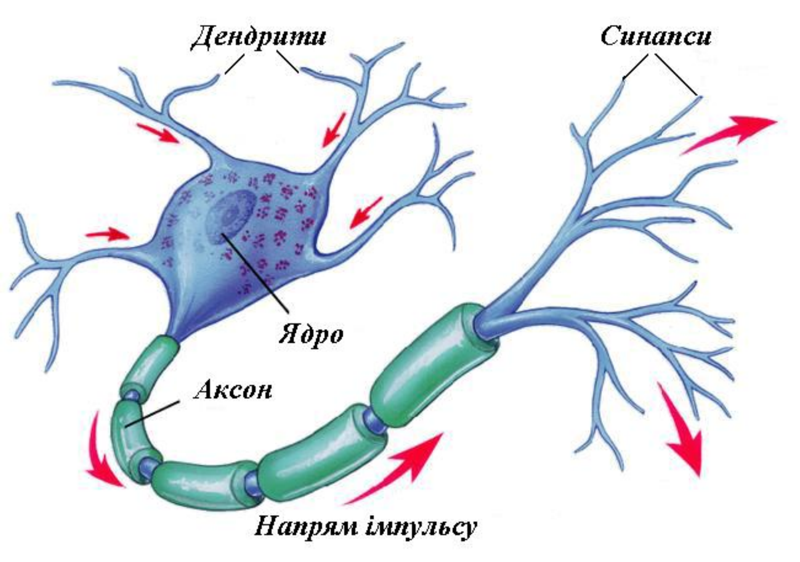
Ф. Розенблатт “Принципи нейродинаміки. Перцептрони та теорія механізмів мозку” (1958 р.). Винахід одношарового перцептрону та його використання при розв'язанні задачі класифікації.

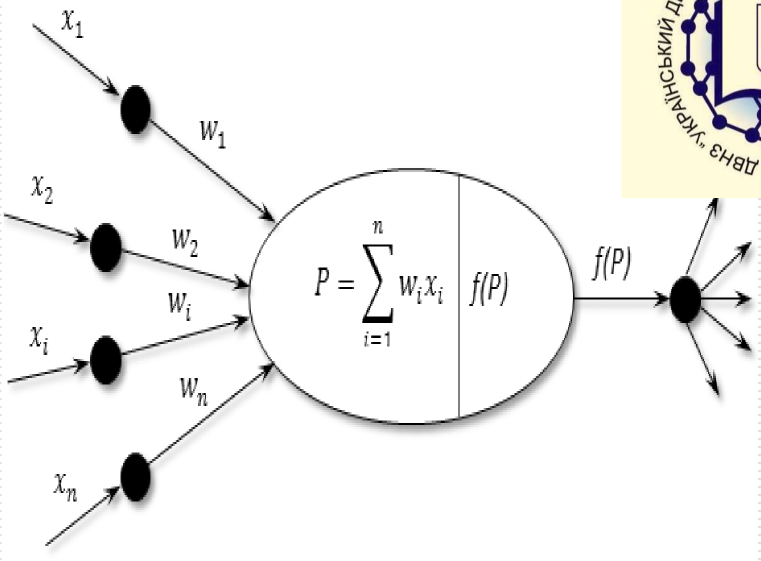
Дж. Хопфілд “Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities” (1982 р.). Дослідження з математичних основ динамічних нейронних мереж.

Т. Кохонен “Learning Vector Quantization, Neural Networks” (1984 р.). Розробка самоорганізованих мереж, що навчаються без вчителя.

Д. Румельхарт, Дж. Хінтон “Learning Vector Quantization, Neural Networks” (1984 р.). Розвиток алгоритму зворотного поширення похибки для навчання багатошарових НМ прямого поширення.

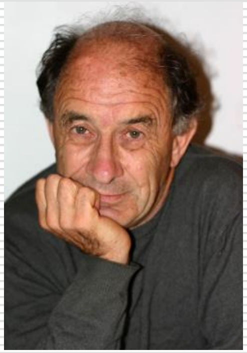
Нейронні мережі





Біологічний нейрон та його математична модель

Методологічні основи теорії НМ



Теорема Колмогорова - Арнольда. Неперервну функцію багатьох аргументів можна представити як суперпозицію неперервних функцій одного аргументу (1957 р.)

Теорема Р. Хехт-Нильсена. Функцію багатьох змінних загального вигляду можна представити як двошарову НМ з прямими повними зв'язками з *n* нейронами вхідного шару та *(2n+1)* нейронами прихованого шару з обмеженими функціями активації (1987 р.)

Нейронні мережі

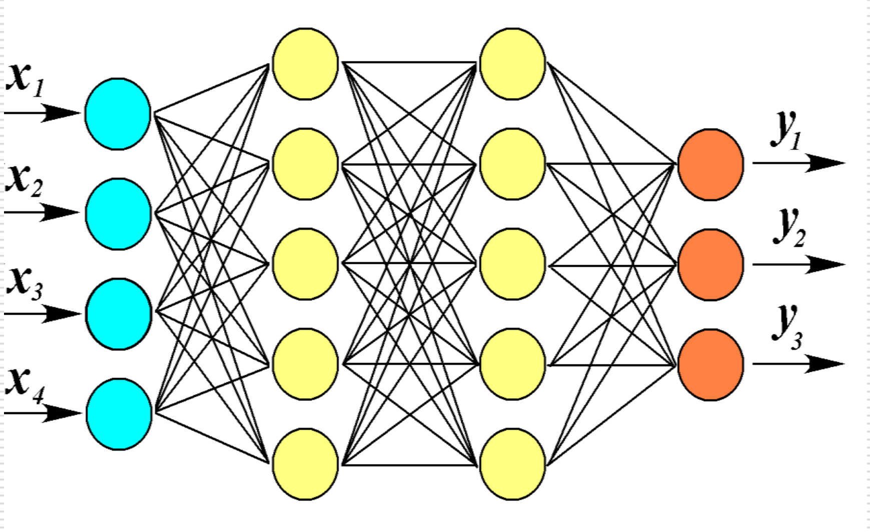
Застосування нейронних мереж:

- задачі розпізнавання образів;
- задачі класифікації;
- задачі кластеризації;
- задачі апроксимації;
- задачі управління та аналізу систем;
- задачі оптимізації;
- задачі прогнозу;
- задачі стиснення інформації;
- задачі захисту інформації.

Атрибути нейронних мереж

1. Множина простих процесорів (вхідні та вихідні нейрони, нейрони прихованих шарів)

2. Структура зв'язків (матриця *W* з елементами ω_{ij})



Повнозв'язкова НМ з двома прихованими шарами

Нейронні мережі

Атрибути нейронних мереж

3. Правило оновлення сигналів

4. Правило комбінування вхідних сигналів: $z = \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot \omega_{ij} = \overline{x}^T \cdot \overline{W}_j$

5. Правило перетворювання вхідних сигналів (функція активації)

Виды функции активации:

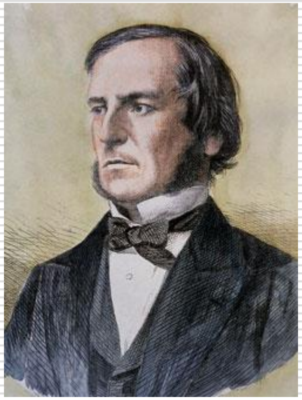
$$y = f(z) = \begin{cases} 0, \; якщо \; z < 0 \\ 1, \; якщо \; z \geq 0 \end{cases} \qquad y = f(z) = k \cdot z + b \qquad y = f(z) = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha \cdot z)}$$

а) порогова — б) лінійна — в) сигмоїдальна

6. Правило навчання для корегування зв'язків

$$\overline{\omega} = \arg\min \{E(\overline{\omega})\}; \quad E(\overline{\omega}) = \sum_{j=1}^{s} \sum_{i=1}^{k} \left(t_i^j - y_i^j(\overline{\omega})\right)^2$$

Нечітка математика



Дж. Буль “Математичний аналіз логіки” (1847 р.). Застосування аналогій між символічним методом алгебри та символічним методом представлення логічних форм та силогізмів.

Л. Заде “Поняття лінгвістичної змінної та її застосування до прийняття наближених рішень” (1965 р.). Формулювання поняття лінгвістичної змінної, в якості якої виступають нечіткі множини.

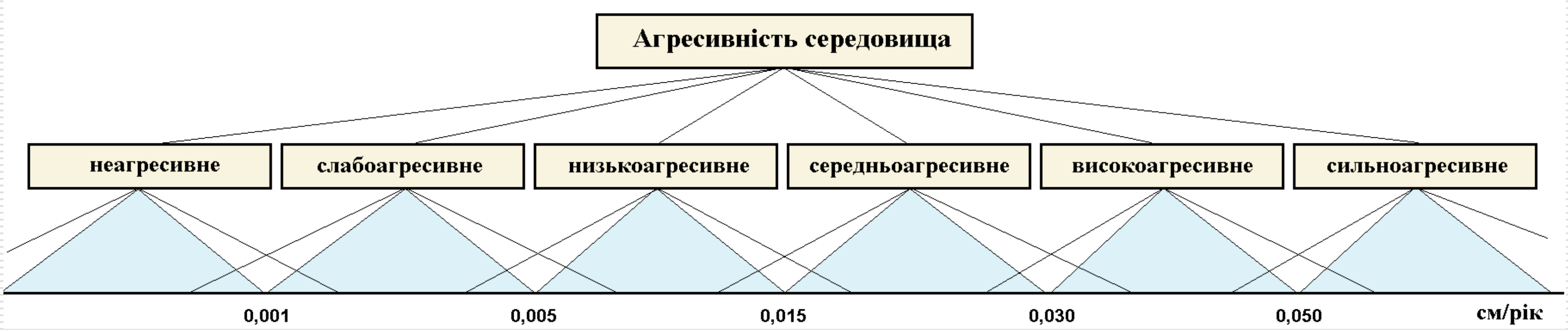
Е. Мамдані. “Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant” (1975 р.). Вперше запропоновано метод логічного виведення на основі лінгвістичних змінних.

Б. Коско “Fuzzy Systems as Universal Approximators” (1993 р.). Доказ теореми про нечітку апроксимацію – базового математичного апарату теорії нечітких множин.

Нечітка математика

Теорема про нечітку апроксимацію (FAT). **Будь-яка математична система може бути апроксимована системою, заснованою на нечіткій логіці.**
За допомогою природно-мовних висловлювань-правил «ЯКЩО – ТО» з подальшою їх формалізацією засобами ТНМ можна з будь-яким ступенем точності відобразити довільний взаємозв'язок «ВХІД – ВИХІД»

Лінгвістична змінна (терм) – **змінна, яка може приймати значення слів або речень природної або штучної мови**



Приклад. Лінгвістична змінна “Агресивність середовища”

Застосування нечіткої математики

- наближені обчислення;
- нечітке логічне виведення;
- символічна нечітка логіка;
- нечіткі експертні системи;
- нечіткі нейронні мережі.

Нечіткою множиною X з деякого простору A є множина пар:

$$X = \{(a, \mu_X(a)) \mid a \in A\}; \quad (A \neq \varnothing)$$

Функцією належності нечіткої множини X є функція

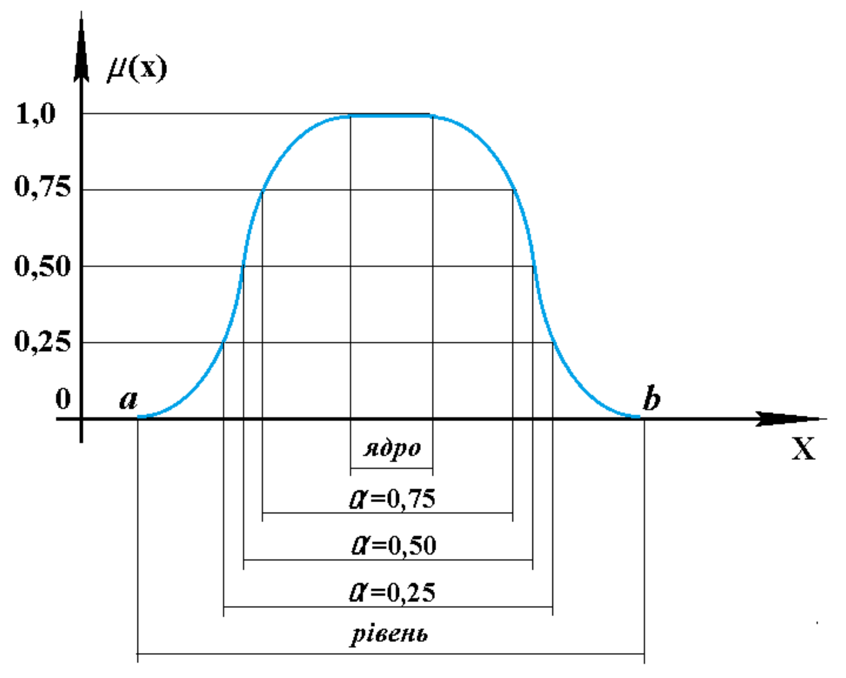
$$\mu_X(a): A \to [0;1]$$

яка дозволяє обчислити ступінь належності будь-якого елементу простору A множині X.

Форми запису НМ:

$$X = \sum_{j=1}^{n} \frac{\mu(x_j)}{x_j} \; (X \subset N);$$

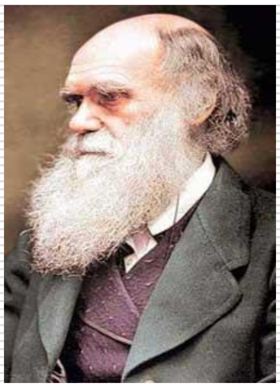
$$X = \int_X \frac{\mu(x)}{x} \; (X \subset R)$$



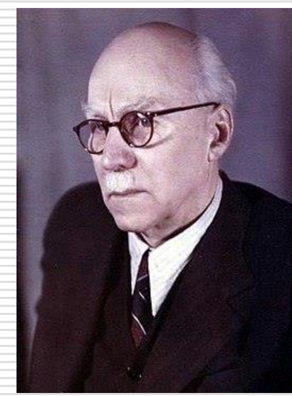
Представлення нечіткої множини у вигляді функції належності

Еволюційне моделювання

Ж.-Б. Ламарк “Філософія зоології” (1809 р.). Перша спроба створення цілісної теорії еволюції живого світу.



Ч. Дарвін “Походження видів шляхом природного відбору” (1859 р.). Відкриття та обґрунтування основного закону розвитку органічного світу.



І.І. Шмальгаузен “Шляхи та закономірності еволюційного процесу” (1938 р.). Розвиток теорії Ч. Дарвіна. Опис необхідних та достатніх умов процесу еволюції.

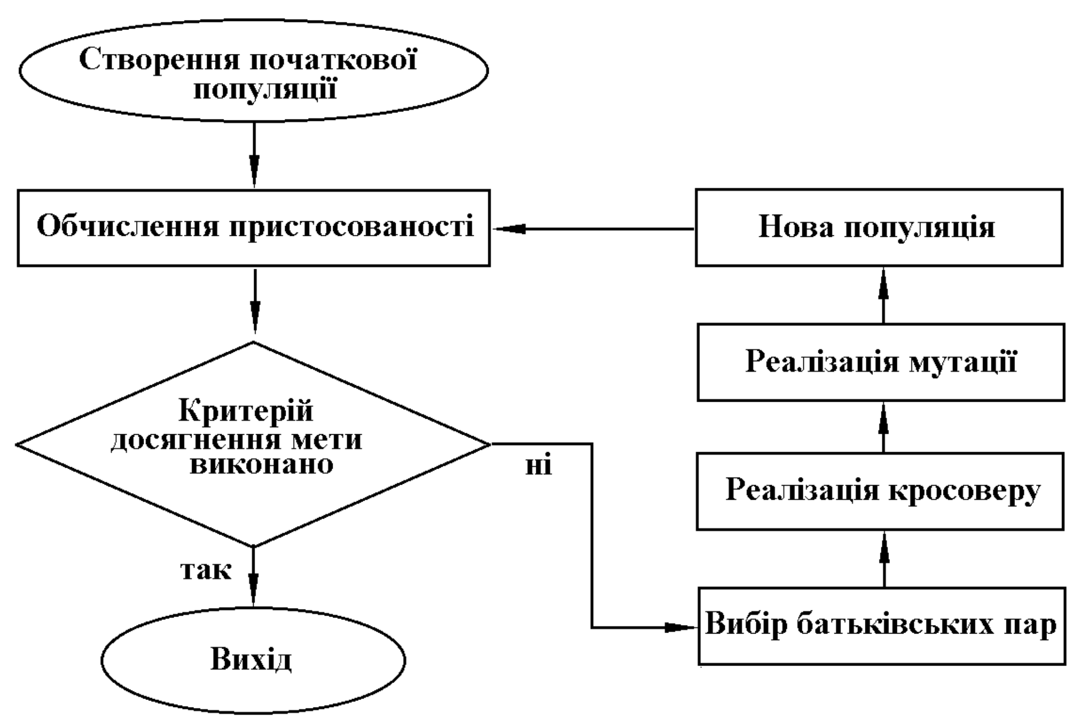
Дж. Холланд “Адптація в природних та штучних системах” (1975р.). Перше використання генетичного методу, як евристичного стохастичного методу оптимізації.

Еволюційне моделювання

Застосування еволюційного моделювання

- задачі дискретної оптимізації;
- задачі логістики;
- задачі навчання НМ;
- задачі календарного планування;
- задачі оптимального проектування;
- ігрові стратегії;
- задачі компоновки;
- штучне життя.

Загальна схема генетичного методу



Еволюційне моделювання

Основні генетичні оператори

Оператор кроссовера

Б1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
Б2	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1
Н1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1
Н2	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1

Оператор мутації

1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1

Оператор інверсії

1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1

Оператор транслокації

1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1

Схема турнирного відбору

БМ1	1	7	2	8	2	6	3	5	4	6
Б1	1	7	2	8	1	6	3	5	4	6
Б2	3	5	2	6	2	8	4	10	2	9
БМ2	3	5	2	6	2	8	3	10	2	9

НМ1	1	8	2	8	1	6	4	10	2	9
Н1	1	7	2	8	1	6	4	10	2	9
Н2	3	5	2	6	2	8	3	5	4	6
НМ2	3	5	2	6	2	8	3	5	3	6

Прикладна задача
Оптимальне проєктування конструкцій, що функціонують в агресивних технологічних середовищах

Математична постановка задачі (на прикладі кородуючих ШСК)

$$F(\bar{x}) = \sum_{i=1}^{N} L_i A_i(\bar{x}) \to \min; \quad \bar{x} \in X_D \qquad \textbf{(1)}$$

$$X_D : \{\bar{x} \in E^n \mid g_1(\bar{x}) = [\sigma] - \sigma_i(\bar{x}, t^*) \geq 0;$$

$$g_2(\bar{x}) = \sigma_j{}^*(\bar{x}, t^*) - \sigma_j(\bar{x}, t^*) \geq 0; i \in \overline{1, N}; \ j \in J\} \qquad \textbf{(2)}$$

Особливості розв'язання задачі:

1. Розв'язок задачі шукається на дискретній неметричній множині розв'язків (задача дискретної оптимізації комбінаторного типу). Для таких задач не існує ефективних алгоритмів розв'язання (NP-складна задача).

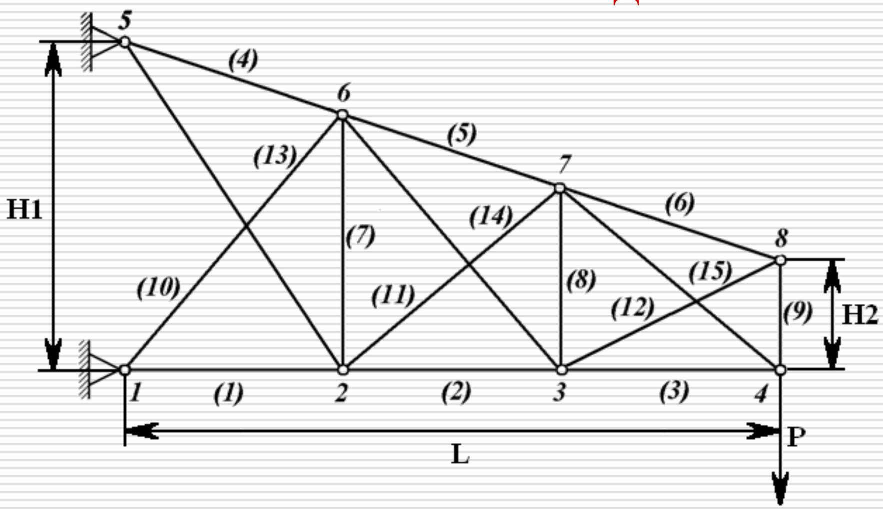
2. Геометричні характеристики конструкцій внаслідок впливу АС змінюються в процесі її експлуатації. Інтенсивність процесу корозії залежить від величини механічних напружень.

3. Параметр агресивного середовища (швидкість накопичення геометричних пошкоджень) є нечітко заданим.

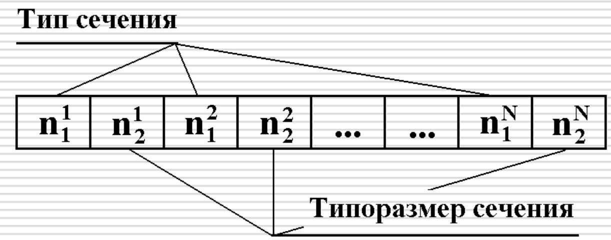
4. Похибка обчислень функцій обмежень задачі оптимізації об'єктивно змінюється в процесі її розв'язування, отже похибка остаточного розв'язку не піддається прогнозу.

Висновок: Успішне розв'язання задачі можливе лише з використуванням методів обчислювального інтелекту.

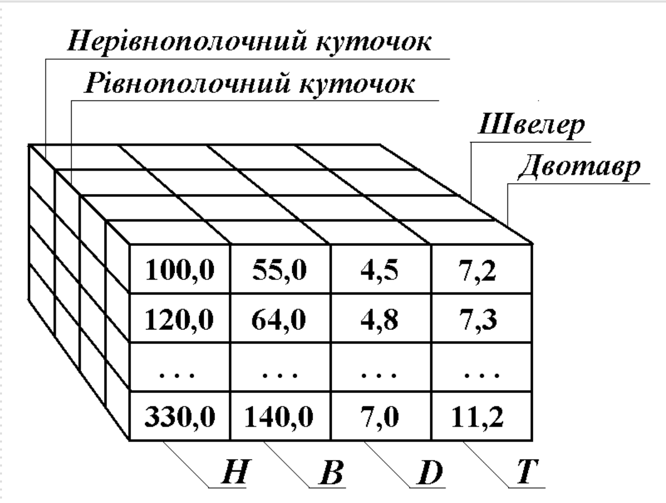
Розв'язання задачі оптимізації. Еволюційні методи



Розрахункова схема модельної ШСК



Спосіб кодування хромосоми

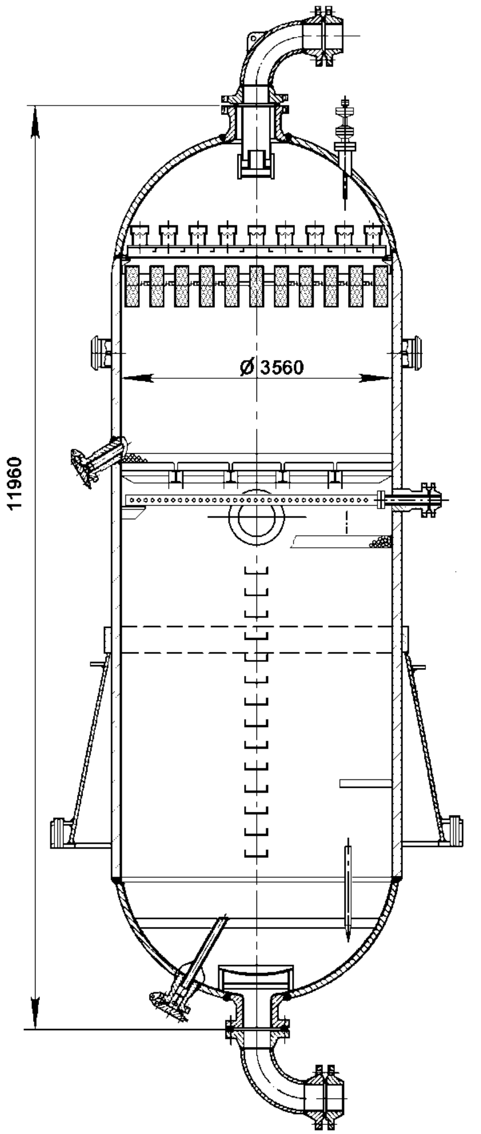


Множина розв'язків оптимізаційної задачі

Використання цілочисельного RGA:

- Модель еволюції Х. де Фриза
- Модель ізольованої популяції
- Одноточковий кросовер
- Мутація тільки парних генів (типорозміри перерізів)
- Турнірний відбір

Моделювання впливу агресивного середовища. Нечітка математика



Параметри технологічного процесу:

T = 360 - 420° C
P = 1,5 - 2,5 атм.
Атмосфера перегрітої водяної пари + SO_2, SO_3, P_2O_5 та т.і.
Технологічний цикл – 8000 годин

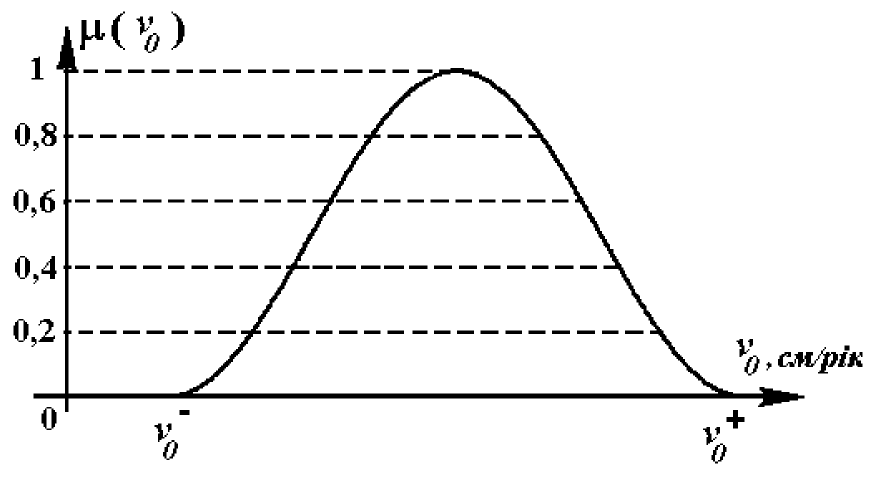
Модель накопичення пошкоджень:

$$\frac{d\delta}{dt} = v_0 \Psi \left\{ \sigma_{eq}(\delta) \right\} \qquad (3)$$

Використання лінгвістичної змінної (терму) «агресивність середовища»:

Терм	v_0, см/рік	Терм	v_0, см/рік
Нейтральна	< 0,001	Середня	0,015 - 0,030
Слабка	0,001 - 0,005	Висока	0,030 - 0,050
Низька	0,005 - 0,015	Сильна	> 0,050

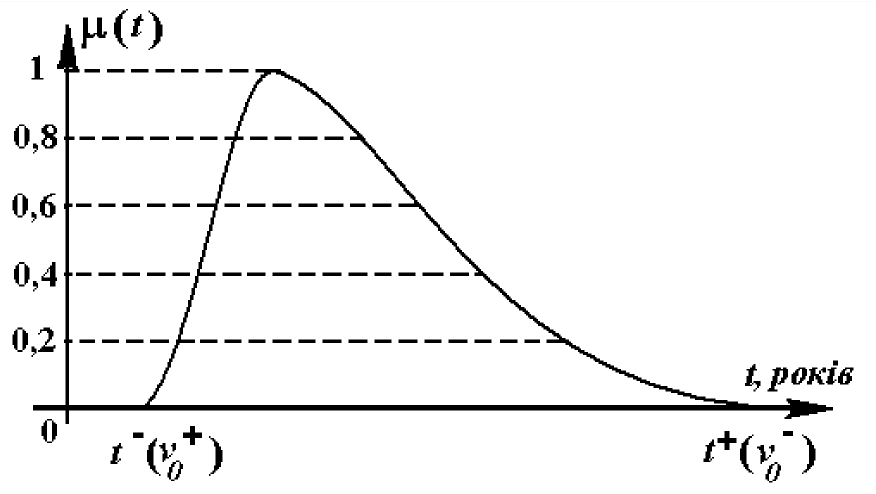
Використання α-рівневого принципу узагальнення



Операція фаззіфікації

$$\tilde{v}_0 = \sum_{i=1}^{2\cdot N_\alpha - 1} \frac{\mu(v_0^i)}{v_o^i}, \text{ где } v_0^i \in [v_0^-; v_0^+]$$

$$\mu(v_0^i) = \begin{cases} 0, & v_0^i \notin [v_0^-; v_0^+]; \\ \cos\left(\pi \cdot \dfrac{v_{cp} - v_0^i}{v_0^+ - v_0^-}\right), & v_0^i \in [v_0^-; v_0^+]. \end{cases}$$



Операція дефаззіфікації

$$t = t_{деф} = \frac{\sum_{i=1}^{2\cdot N_\alpha - 1} t^i \cdot \mu(t^i)}{\sum_{i=1}^{2\cdot N_\alpha - 1} \mu(t^i)}, \quad где \quad t^i \in \left[t^-; t^+\right].$$

Моделювання процесу корозійного деформування. Нейронні мережі

Система рівнянь механіки:

$$\bar{R} = K \cdot \bar{u};$$
$$\bar{\varepsilon} = D \cdot \bar{u}; \qquad \textbf{(4)}$$
$$\bar{\sigma} = E \cdot \bar{\varepsilon}$$

СДР, що описує процес корозії (модель накопичення геометричних ушкоджень):

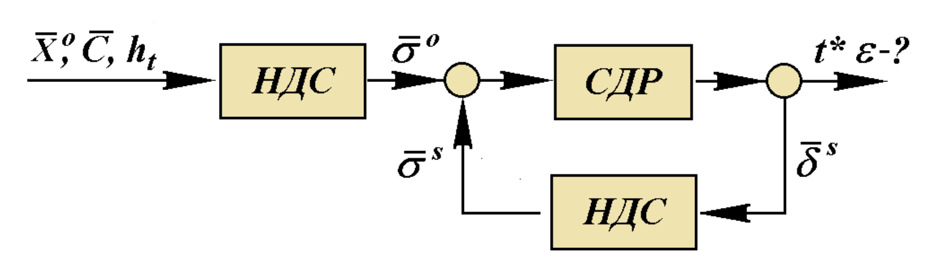
$$\frac{d\delta_i}{dt} = v_0\,\psi_i\left[\sigma_i\left(\bar{\delta}\right)\right]; \quad \delta_i\big|_{t=0} = 0; \quad i = \overline{1, N}$$

Критерії граничного стану:

$t^* : \sigma_i(t^*) = [\sigma];$ **- критерій міцності**

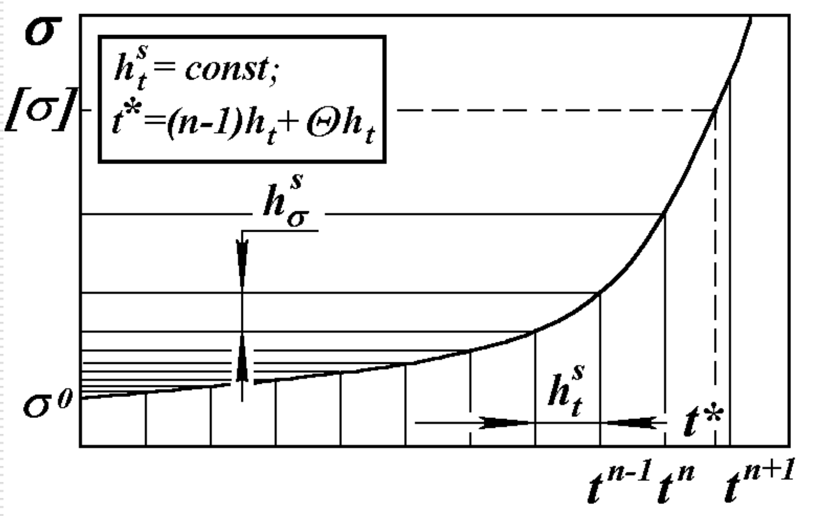
$\sigma_j(t^*) = \sigma_j{}^*(t^*);$ **- критерій стійкості**

$\delta_k(t^*) = \delta_k{}^*$ **- критерій суцільності**

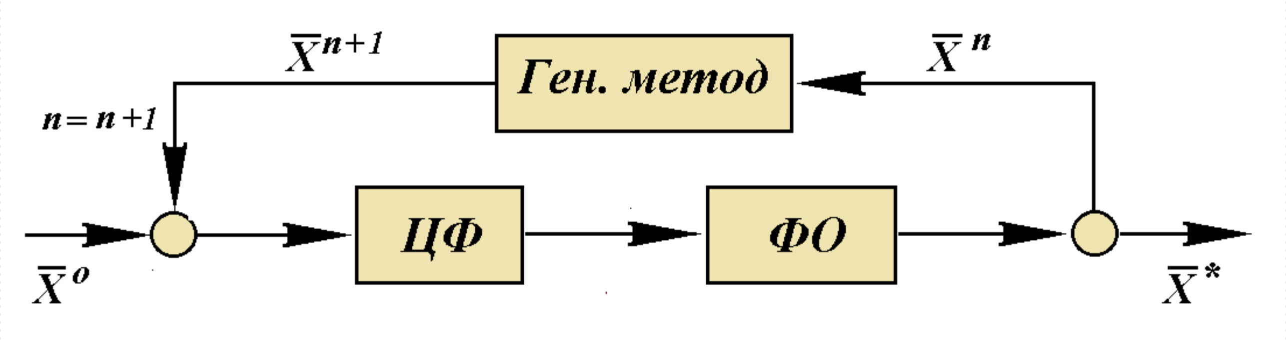


Чисельне розв'язання СДР:

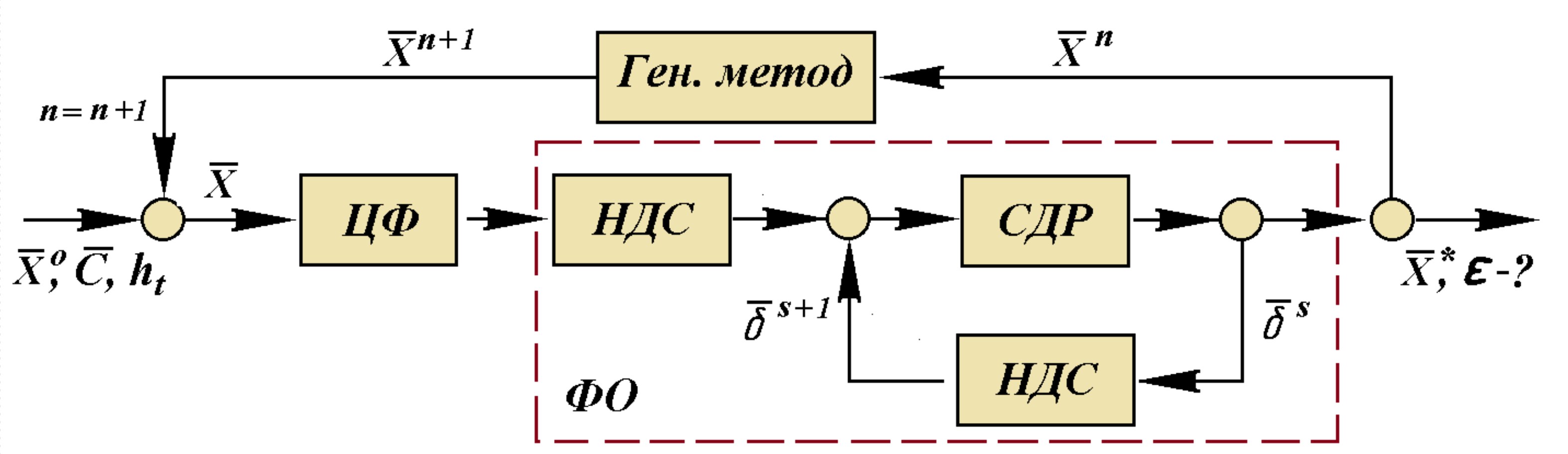
$$\delta_i^s = \delta_i^{s-1} + h_t^s \cdot v_0 \cdot \psi_i\left[\sigma_i^{s-1}\left(\bar{\delta}^{s-1}\right)\right]$$



Схеми розв'язання задач оптимізації

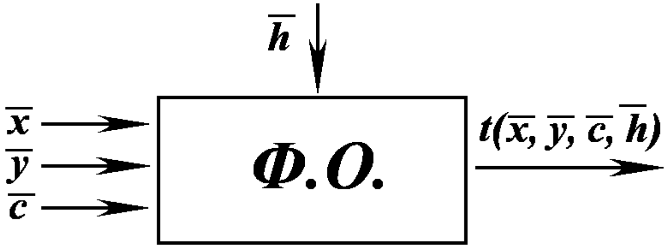


В традиційній постановці



З врахуванням впливу агресивного середовища

Управління точністю чисельного розв'язання СДР



$$\varepsilon = \frac{\left| t(\bar{x}, \bar{y}, \bar{c}, \bar{h}) - t^* \right|}{t^*} = ?$$

$\bar{x}$ - вектор варійованих параметрів;

$\bar{y}$ - вектор незмінних параметрів;

$\bar{c}$ - вектор параметрів агресивного середовища;

$\bar{h}$ - вектор параметрів чисельних методів.

D - множина розв'язків задачі оптимізації: $D = D_1 \cup D_2 \cup D_3$

якщо $\bar{h} = const$, то:

$$\forall\, \bar{x} \in D_1 \Rightarrow \varepsilon\left(\bar{x}, \bar{y}, \bar{c}, \bar{h}\right) > \varepsilon^*$$

$$\forall\, \bar{x} \in D_2 \Rightarrow \varepsilon\left(\bar{x}, \bar{y}, \bar{c}, \bar{h}\right) < \varepsilon^*$$

$$\forall\, \bar{x} \in D_3 \Rightarrow \left|\varepsilon\left(\bar{x}, \bar{y}, \bar{c}, \bar{h}\right) - \varepsilon^*\right| \le \delta$$

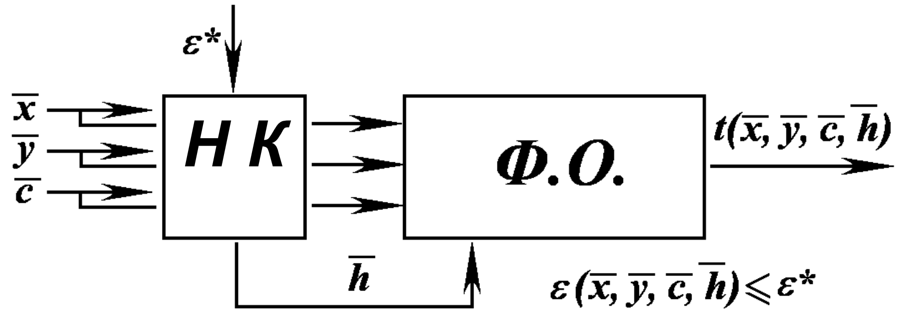
інакше:

$$\forall\, \bar{x}, \bar{y}, \bar{c}\ \exists!\ \bar{h}^*: \left|\varepsilon\left(\bar{h}^*\right) - \varepsilon^*\right| \le \delta$$

Треба найти: $F(\bar{x}, \bar{y}, \bar{c}, \bar{h}, \varepsilon^*) = 0$ для якої $D = D_3$ **(5)**

<u>Етапи розв'язання задачі:</u>

1. Вибір алгоритму розв'язання СДР та параметрів управління точністю.
2. Визначення значущих параметрів та способу апроксимації.
3. Одержання навчальних зразків.



Концепція побудови апроксимуючої функції

1) $$\frac{d\delta_i}{dt} = v_0 \cdot f\left(\bar{\delta}\right) \quad \textbf{(A)} \qquad \frac{d\delta_i}{dt} = v_0 \cdot \varphi\left(\bar{\delta}\right) \quad \textbf{(B)}$$

2) $$\exists h_t{*}: \forall h_t \le h_t{*} \Rightarrow \left|\varepsilon_A - \varepsilon_B\right| \le \Delta\varepsilon \qquad t_A{*} \ne t_B{*}$$

Вхідна СДР:

$$\frac{d\delta_i}{dt} = v_0 \left[1 + k\sigma_i(A_i(\delta_i), Q_i(\bar{\delta}))\right] \quad \textbf{(6)}$$

Перетворена СДР (при Q_i **= *const*)**

$$\frac{d\delta_i}{dt} = v_0 \left[1 + k\sigma_i(A_i(\delta_i), Q_i)\right] \quad \textbf{(7)}$$

Точний розв'язок (7)*:

$$t_i{*} = t_i - \frac{2kQ_i}{v_0 d_i} \ln\left\{\frac{(P_i + d_i - 2a_i\delta_i)(P_i - d_i)}{(P_i - d_i - 2a_i\delta_i)(P_i + d_i)}\right\}; \quad t_i = \delta_i^{\min} / v_0; \quad \textbf{(8)}$$

$$t{*} = \min\left\{t_1{*},\ t_2{*},\ t_3{*}, \ldots, t_N{*}\right\} \quad \textbf{(9)}$$

Умови для визначення δ_i

- обмеження по міцності

$$A - P \cdot \delta + a \cdot \delta^2 = \frac{Q}{[\sigma]}$$

-обмеження по стійкості

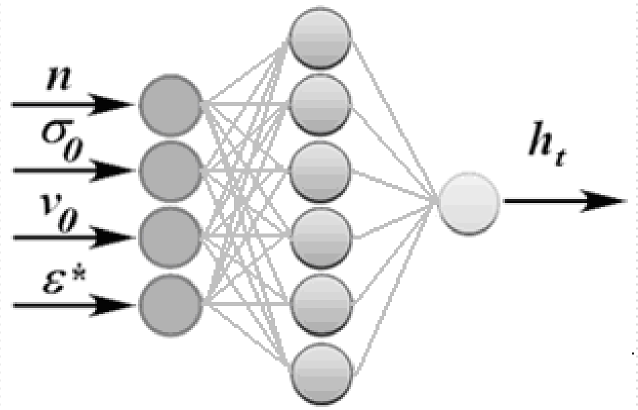
$$Q = \frac{\pi^2 E I_{\min}(\delta)}{L^2}$$

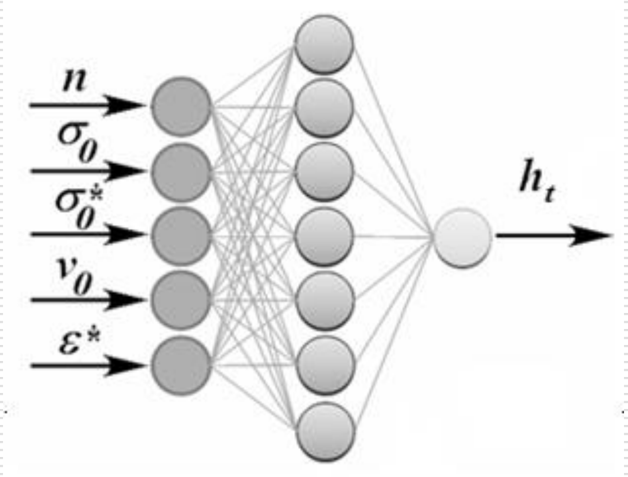
* Зеленцов Д.Г. Расчёт конструкций с изменяющейся геометрией в агрессивных средах. Стержневые системы. Монография. – Днепропетровск: УГХТУ, 2002. – 168 с.

Алгоритм формування навчальних зразків

1. **Визначення границь вектору** $\overline{\eta} = \left[n, \sigma_0, v_0, h_\sigma\right]$ **параметрів зразків:**
   $$\eta_i \in \left[\eta_i^-; \eta_i^+\right]$$
2. **Визначення випадковим чином параметрів даного зразку та їх нормалізація** $\eta_i = \eta_i^- + \alpha_i\left(\eta_i^+ - \eta_i^-\right)$; $\alpha_i \in (0;1)$.
3. **Одержання еталонного розв'язку для даного зразку** t_A*.
4. **Одержання чисельного розв'язку для даного зразку** t_N*.
5. **Визначення похибки чисельного розв'язку** $$\varepsilon = \frac{\left|t_A * - t_N *\right|}{t_A *}$$
6. **Якщо** $\varepsilon \in \left[\varepsilon^-; \varepsilon^+\right]$**, то 7, інакше 2.**
7. **Нормалізація похибки та формування строки матриці навчальних зразків.**
8. **Перехід до наступного зразку.**

Архітектура нейроконтролеру та схема розв'язання задачі





Архітектура НМ для розтягнутого (а) та стиснутого (б) стержнів

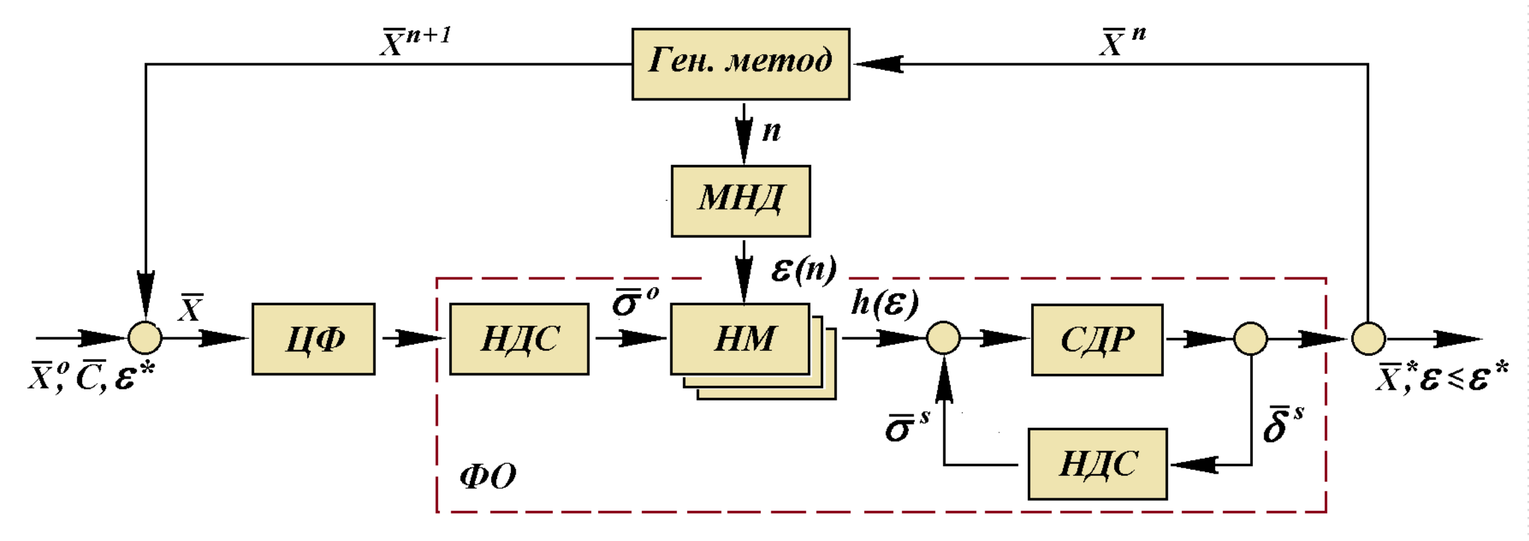


Схема розв'язання задачі з використанням нейроконтролеру

Основні публікації за темою лекції

1. Зеленцов Д.Г., Короткая Л.И. Технологии вычислительного интеллекта в задачах моделирования динамических систем. – Днепр: Баланс-Клуб. – 178 с.
2. Зеленцов Д.Г., Короткая Л.И. Нейронные сети как средство модификации метода скользящего допуска. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Математика и кибернетика – фундаментальные и прикладные аспекты. – 2011. – 4/4 (52). – С. 21 – 24.
3. Zelentsov D.G., Denysiuk O.R. Determination of rational numerical solution parameters for some classes systems of differential equations. // “Novation”. Monthly international scientific journal. – 2016. - № 4. – ч. 1. – С. 34 – 37.
4. Zelentsov D.G., Denysiuk O.R. Use of genetic algorithms in problems of corroding hinged-rod structures optimal design. // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. Збірник наукових праць. – 2016. – вип. 25. – С. 40 – 50.
5. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. – 20.01.2012. – № 41871. Комп'ютерна програма “Нейромережеві моделі розрахунку та оптимізації коpодуючих конструкцій” / Зеленцов Д.Г., Радуль О.А.
6. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. – 20.01.2012. – № 41872. Комп'ютерна програма “Інтелектуальна інформаційна система чисельного розв'язання систем диференціальних рівнянь” / Зеленцов Д.Г., Коротка Л.І.
7. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. . – 18.05.2017. - № 72037. Комп'ютерна програма “ Дискретна оптимізація кородуючих конструкцій з використанням методу нежорсткого допуску “ / Зеленцов Д.Г., Денисюк О.Р.

Сайт кафедри інформаційних систем: xt.dp.ua
Електронна пошта: dgzelentsov@gmail.com