М.М. Колодницький

ТИПОЛОГІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ
Частина 2

В даній роботі зроблена спроба провести класифікацію математичних моделей технічних систем. В частині 2 даної роботи розглядається певна ієрархія типів математичних структур та перелік обчислювальних задач, що виникають для кожного з них.

Дана робота є продовженням роботи [1], в якій було розглянуто історичні аспекти проблеми моделювання як методу наукового пізнання, висвітлено етап формалізації задач і зроблено висновок про те, що існує певна ієрархія родів математичних структур (МС), яка може бути покладена в основу класифікації математичних моделей (ММ) технічних систем (ТС).

Для кожного роду математичних структур існує певний набір видів задач аналізу, тобто спектр математичних проблем, що постають для даного класу математичних моделей ТС. Розглядання математичних моделей ТС з точки зору належності їх до того чи іншого роду математичних структур з випливаючим звідси переліком математичних проблем даного роду математичних структур, на нашу думку, є доцільною основою типології ММ ТС.

Тут окремо підкреслимо, що серед всіх математичних проблем даного роду математичних структур нас (з точки зору математичного моделювання технічних систем) в першу чергу цікавлять задачі *обчислювального* характеру (іншими словами – не задачі доведення теорем, а задачі проведення чисельних розрахунків). Виділення та систематизація таких обчислювальних задач (ОЗ) для кожного роду математичних структур є важливим етапом в типології ММ; ці обчислювальні задачі є ядром *дослідження* ММ, вони приводять до проблеми чисельного аналізу математичних моделей ТС.

Отже, пропонується під *типологією* математичних моделей ТС розуміти сукупність класифікації математичних структур та класифікації обчислювальних задач математичних структур кожного типу. (Нагадаємо, що типологією називається вид наукової систематизації, класифікація чогось за спільними ознаками). В даній роботі пропонується така типологія ММ, а саме – проводиться систематизація (певна ієрархія) типів математичних структур та перелік обчислювальних задач, що виникають для кожного з них.

Для компактності представлення матеріалу він весь подається в таблицях. Таблиці, в свою чергу, розбиті на групи – див. табл. 1.

Таблиця 1

Перелік базових математичних структур та відповідних їм обчислювальних задач

№	Назва математичної моделі	Формалізований опис ММ	Обчислювальні задачі ММ
1	Абстрактні множини	табл. 3	табл. 2
2	Числові системи	табл. 4	табл. 5
3	Функціональні відношення	табл. 6	---
3.1	Числові функції	табл. 7	табл. 8
4	Алгебраїчні системи (з однією бінарною операцією)	табл. 9	табл. 10
5	Поліноми	табл. 12, табл. 12.1, табл. 12.2	табл. 11
6	Векторний простір	табл. 13	табл. 14
7	Тензори	*)	*)
8	Дискретні логічні моделі	табл. 15	табл. 16
9	Імовірнісні моделі	*)	*)
10	Динамічні системи	*)	*)
11	Оптимізаційні моделі	*)	*)

*) У зв'язку з обмеженим об'ємом статті ці таблиці будуть наведені у наступному номері журналу.

Таблиця 2

Задачі обчислювального характеру ММ "Абстрактні множини"

Визначення:
1. Відношення належності елемента: $x \in M$; $x \notin M$.
2. Підмножини: $A \subset B$; $A \not\subset B$.
3. Порівняння: $A = B$.
4. Класу множин, тобто множини всіх підмножин.
5. Мажоранти та міноранти, верхньої та нижньої грані множини.
6. Операції над множинами: об'єднання $A \cup B$, перетин $A \cap B$, різниця $A \setminus B$, доповнення $\overline{A}$.
7. Прямого (декартового) добутку множин X та Y: $X \times Y = \{<x, y> \mid x \in X, y \in Y\}$.

Таблиця 3

Представлення ММ "Абстрактні множини" за допомогою математичної структури $M = \{E, R\}$

"Природа" елементів E	Унарні відношення R_1		Бінарні відношення (унарні операції (у. о.)) R_2					Тернарні відношення – бінарні операції R_3			Функціональні відношення (бінарні, тернарні)	
Абстрактна множина	*Порожня* множина $\varnothing$	*Універсум* U	Відношення *належності* елемента $x \in M\ x \notin M$	*Підмножини*: $A \subset B; A \not\subset B$	*Рівність* множин та підмножин ("=")	Відношення *порядку* (">")	Доповнення $\overline{A}$	Об'єднання $A \cup B$	Перетин $A \cap B$	Різниця $A \setminus B$	Прямий добуток множин $X \times Y$	Оператор (відображення) $Z = F(X, Y)$

Таблиця 4

Представлення ММ "Числові системи" за допомогою математичної структури $M = \{E, R\}$

"Природа" елементів E	Унарні відношення R_1	Бінарні відношення R_2		Тернарні відношення – бінарні операції R_3										
		("=")	(">")	Перша бінарна операція ("+")					Друга бінарна операція ("·")					
				Властивості		Елементи			Властивості			Елементи		
Множина Чисел		Властивості: -рефлексивності -симетричності -транзитивності	Властивості: -рефлексивності -симетричності -транзитивності	асоціативності	комутативності	регулярний	нейтральний (0)	симетричний	асоціативності	комутативності	дистрибутивності	регулярний	нейтральний (1)	симетричний
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$E = N$	Число 1	√	√	√	√	√	–	*	√	√	√	√	√	–
$E = Z$	Число 1,0	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	–
$E = Q$	Число 1,0	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
$E = I$	Число 1,0	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
$E = R$	Число 1,0	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
$E = C$	Число 1,0, $\sqrt{-1}$	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

$N = \{1, 2, 3, \ldots\}$; $Z = \{-N, 0, N\}$;

$Q = \{ q = n \cdot m^{-1}$ (тобто n / m), $n \in Z, m \in N \}$;

$I = \{ \sqrt[n]{q}, n \in N\}$; $R = \{ Q \cap I\}$; $C = \{ R \cap \sqrt{-1}\}$.

* – операція, обернена до додавання, виконується (існує) не для всіх елементів множини N.

Таблиця 5

Задачі обчислювального характеру ММ "Числові системи"

Для натуральних чисел N.

I. Операції:

1. Виконання арифметичних операцій над натуральними числами та перетворення арифметичних виразів з використанням властивостей операцій.

II. Підмножини:

2. Перевірка заданого числа на простоту ("чи є дане число простим?").
3. Знаходження (всіх) простих чисел в заданому діапазоні ("решето Ератосфена" та інші алгоритми).
4. Дослідження функцій розподілу простих чисел.
5. Знаходження розкладу заданого (одного) складеного числа на прості числа (за "підмножинами").

III. "Взаємодія" двох (чи більше) "Підмножин" між собою:

6. "Чи є одне число дільником іншого?", ознаки подільності, знаходження лишку, знаходження дільника пари чисел.
7. Розклад двох (чи більше) чисел: взаємно прості, знаходження НСД та НСК пари (чи більше) чисел (алгоритм Евкліда).

Для цілих чисел Z.

0. Задачі, що виникають в системі N як підмножині Z.

I. Операції:

1. Виконання арифметичних операцій над цілими числами та перетворення арифметичних виразів з використанням властивостей операцій.

II. "Взаємодія" двох (чи більше) "Підмножин" між собою:

2. Знаходження дільника 0 (два числа, друге число є 0), тобто розв'язку рівнянь $d \cdot m = 0$ або співвідношень більш загального виду $P_n(d, z) = 0$, де P_n – поліном над кільцем цілих чисел (наприклад, діофантові рівняння).
3. Розв'язок нерівностей, модуль числа.

Для раціональних чисел Q.

0. Задачі, що виникають в системі Z як підмножині Q.

I. Операції:

1. Виконання арифметичних операцій над раціональними числами та перетворення арифметичних виразів з використанням властивостей операцій.

II. Розклад (апроксимація, представлення) раціональних чисел:

2. Ланцюговим дробом.
3. Гіллястим дробом.

Для ірраціональних чисел I.

0. Задачі, що виникають в системі Q як підмножині I.

I. Операції:

1. Виконання арифметичних операцій над ірраціональними числами та перетворення арифметичних виразів з використанням властивостей операцій.

Для дійсних чисел R.

0. Задачі, що виникають в об'єднаній системі Q та I.

Для комплексних чисел C.

I. Операції.

II. Геометричне представлення.

Таблиця 6

Представлення ММ "Функціональні відношення $f: X \to Y$" за допомогою математичної структури $M = \{E, R\}$

Природа елементів E – Множини X та Y		**Бінарне відношення** $f: X \to Y$
Множина X	Множина Y	
Числові функції		Функції одного аргументу
Числові системи	**Числові системи:**	
ℕ, ℤ – натуральні та цілі числа	ℕ, ℤ – натуральні та цілі числа	Дискретні функції дискретних аргументів (в т.ч. булеві)
	ℝ – дійсні числа	Функції дискретних аргументів
ℝ – дійсні числа (властивість *щільності*)	ℝ – дійсні числа (властивість *щільності*)	Функції дійсної змінної (властивість *неперервності*)
	ℂ – комплексні числа	Комплексно-значні функції від дійсної змінної
ℂ – комплексні числа	ℂ – комплексні числа	Функції комплексної змінної $w = f(z)$
Узагальнені функції		Функції з розривами, дельта-функції тощо
Форми, скалярні поля		
Векторний простір над областю ℕ, ℤ – натуральних та цілих чисел	**Числові системи** ℝ – дійсні числа	Форми дискретних аргументів
Векторний простір над полем ℝ – дійсних чисел	**Числові системи** ℝ – дійсні числа	Скалярні функції векторного аргументу (багатьох аргументів): форми; скалярні поля
Векторний простір над полем ℂ – комплексних чисел	**Числові системи** ℂ – комплексні числа	Ермітові форми
Вектор-функції (годографи)		
Числові системи ℝ – дійсні числа	**Векторний простір** (ВП) над полем ℝ – дійсних чисел	Векторна функція скалярного аргументу (вектор-функція)
Оператори		
Векторний простір над областю ℕ, ℤ – натуральних та цілих чисел	**Вектор** – елемент ВП над полем ℝ – дійсних чисел	Оператори дискретних аргументів
Векторний простір над полем ℝ – дійсних чисел	**Вектор** – елемент ВП над полем ℝ – дійсних чисел	Оператори – *лінійні* функції багатьох аргументів (матриці)
Векторний простір над полем ℝ – дійсних чисел	**Вектор** – елемент ВП над полем ℝ – дійсних чисел	Оператори – *нелінійні* функції багатьох аргументів (Векторні поля)
Векторний простір над полем ℂ – комплексних чисел	**Вектор** – елемент ВП над полем ℂ – комплексних чисел	

Таблиця 7

Представлення ММ "Числові функції дійсної змінної (2D)" за допомогою математичної структури $\mathbf{M} = \{E, R\}$

Спосіб завдання						Операції над функціями											
Аналітичний (елементарні функції алгебраїчні і трансцендентні)				Табличний (множина впорядкованих пар $< x, y>$)	Графічний	Композиція ф-й (складна функція)		Обернена функція		Похідна				Інтеграл			
Явний (у вибраній системі координат)		*Неявний* (розв'язок рівняння)	*Параметричний*			Значення в одній точці x	множина пар $< x, y>$	Значення в одній точці x	множина пар $< x, y>$	1-го порядку		Вищі похідні		1-го порядку		кратні	
Декартова: – прямокутна; – косокутна.	Полярна 3D: – циліндрична; – сферична; – еліптична.									значення в точці	функція	значення в точці	функція	визначений	невизначений	визначений	невизначений

Таблиця 8

Задачі обчислювального характеру ММ "Числові функції дійсної змінної (2D)"

I. Дослідження функції:

1) знайти значення функції (тобто пару $< x, y>$);

2) перейти від однієї форми подання до іншої (від неявної до явної; від табличної до графіка тощо);

3) операції:

3.1) композиція функцій (складна функція);

3.2) обернена функція;

3.3) похідна:

- значення похідної в точці (та його геометрична інтерпретація – "дотична" пряма лінія (під кутом α до осі 0X), значення – $\operatorname{tg} \alpha$);
- функція (множина значень похідної (та її геометрична інтерпретація – графік кривої);
- диференціал;
- похідні вищих порядків;

3.4) інтеграл:

- визначений: значення інтеграла в точці (та його геометрична інтерпретація –площа трапеції);
- невизначений: функція (та його геометрична інтерпретація – графік кривої);
- інтеграли вищих порядків при "одновимірному" аргументі x;

4) дослідження функції за допомогою похідних:

4.1) умова сталості функції ("чи функція є сталою на проміжку ?");

4.2) умова монотонності функції ("чи функція є монотонною на проміжку, монотонно зростаючою (спадаючою) ? ");

- найбільше / найменше значення;

4.3) не монотонна функція:

- максимум / мінімум; стаціонарні точки;
- найбільше / найменше значення;
- опукла вгору / опукла донизу; точки згинання.

II. Апроксимація функції.

Таблиця 9

Представлення ММ "Алгебраїчні системи з однією бінарною операцією" за допомогою структури $M = \{E, R\}$

Назва математичної структури	Властивості бінарної операції ("*") та елементів основної множини			
	Операція (R)		Елементи (E)	
	Асоціативності	Комутатив-ності	Нейтральний (унарне відношення)	Обернений
Напівгрупа	√			
Абелева напівгрупа	√	√		
Квазігрупа				√
Лупа			√	√
Моноїд	√		√	
Абелевий моноїд	√	√	√	
Група	√		√	√
Абелева група	√	√	√	√

Таблиця 10

Задачі обчислювального характеру ММ "Скінченна група"

1. Побудова групи:
   1.1. група задана таблицею Келі;
   1.2. група задана породжуючими елементами та визначаючим співвідношенням.
2. Операції над елементами "Скінченної групи ": вичислити "слово" ("ланцюг").
3. Знаходження всіх підгруп.
4. Знаходження нормальної підгрупи (нормального дільника).
5. *Розклад* групи за підгрупою.
6. Представлення груп.

Таблиця 11

Задачі обчислювального характеру ММ "Поліноми"

Многочлен як функція дійсної змінної $y = f(x)$

I. Дослідження функції
1) знайти значення функції (тобто пару $< x, y>$);
2) операції:
 2.1) обернена функція;
 2.2) похідна
  – значення похідної в точці (та його геометрична інтерпретація);
  – функція (множина значень похідної (та її геометрична інтерпретація – графік кривої);
  – диференціал;
  – похідні вищих порядків.
 2.3) інтеграл
  – визначений: значення інтегралу в точці (та його геометрична інтерпретація);
  – невизначений: функція (та його геометрична інтерпретація – графік кривої);
  – кратні інтеграли (подвійний, потрійний) – при "одновимірному" аргументі x.
3) дослідження функції за допомогою похідних:
  – максимум / мінімум.

II. Апроксимація функції

Многочлен як елемент алгебраїчної системи

I. Підмножини:
4) Перевірка заданого многочлена на "простоту" ("чи є даний многочлен зведеним?").
5) Знаходження розкладу заданого (одного) складеного многочлена на прості зведені.

II. "Взаємодія" двох (чи більше) "Підмножин" між собою:
6) "Чи є один многочлен дільником іншого?", ознаки подільності, знаходження лишку, знаходження дільника пари многочленів.
7) Розклад двох (чи більше) многочленів: взаємно прості многочлени, знаходження НСД та НСК пари (чи більше) многочленів (алгоритм Евкліда).
8) Знаходження дільника 0, тобто розв'язок рівнянь $P_n(x) = 0$ – корені многочлена.

III. Нерівності:
9) Розв'язок нерівностей.

Таблиця 12

Представлення ММ "Поліноми над полем дійсних чисел R" за допомогою математичної структури $M = \{E, R\}$

Многочлен як функція	Многочлен як елемент алгебраїчної системи
Див. табл. 12.1	Див. табл. 12.2

Таблиця 12.1

Многочлен як функція

Спосіб завдання		Операції над многочленами як функціями									
Аналітичний	Порядок многочлена та набір його коефіцієнтів	Обернена функція		Похідна				Інтеграл			
				1-го порядку		Вищі похідні		1-го порядку		Кратні	
		Значення в одній точці x	множина пар $<x, y>$ (функція)	Значення в одній точці x	множина пар $<x, y>$ (функція)	Значення в одній точці x	множина пар $<x, y>$ (функція)	Значення в одній точці x – *визначений*	множина пар $<x, y>$ (функція – невизначений)	Значення в одній точці x – *визначений*	множина пар $<x, y>$ (функція – невизначений)

Таблиця 12.2

Многочлен як елемент алгебраїчної системи

"Природа" елементів E	**Унарні відношення R_1**	**Бінарні відношення R_2**		**Тернарні відношення – бінарні операції R_3**										
		("=")	(">")	Перша бінарна операція ("+")					Друга бінарна операція ("·")					
				Властивості		Елементи			Властивості			Елементи		
		Властивості: -рефлексивності -симетричності -транзитивності	Властивості: -рефлексивності -симетричності -транзитивності	асоціативності	комутативності	регулярний	нейтральний (0)	симетричний	асоціативності	комутативності	дистрибутивності	регулярний	нейтральний (1)	симетричний
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Елементи поля P – числова система R	Число 1, 0	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Значення многочлена – числова система C	Число 1,0, $\sqrt{-1}$	√	–	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	–
Многочлен як елемент алгебраїчної системи	0-многочлен	√	–	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	–

Таблиця 13

Представлення ММ "Векторний простір над полем дійсних чисел R" за допомогою математичної структури $M = \{E, R\}$

"Природа" елементів E	Унарні відношення R_1	Бінарні відношення R_2		Тернарні відношення – бінарні операції R_3										
		("=")	(">")	Перша бінарна операція ("+")					Друга бінарна операція ("·")					
				Властивості		Елементи			Властивості			Елементи		
		Властивості: -рефлексивності -симетричності -транзитивності	Властивості: -рефлексивності -симетричності -транзитивності	асоціативності	комутативності	регулярний	нейтральний (0)	симетричний	асоціативності	комутативності	дистрибутивності	регулярний	нейтральний (1)	симетричний
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Елементи поля P – числова система R	Число 1, 0	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Елементи векторного простору L^n	0-вектор	√	–	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	–

Таблиця 14

Задачі обчислювального характеру ММ "Векторний простір над полем дійсних чисел R"

I. Операції:

1. Виконання арифметичних операцій над елементами векторного простору – векторами – та перетворення арифметичних виразів.

II. Підмножини:

2. Узагальнення поняття дільника – пропорційність вектора та лінійна комбінація векторів; знаходження розкладу заданого (одного) вектора за базисом.
3. Підпростір (підпростори) – елементи базису (множина підмножин); лінійна оболонка, многовид, гіперплощини.

III. "Взаємодія" двох (чи більше) "Підмножин" між собою:

4. Перехід від базису до базису.

IY. Функції

А. Форми – скалярні функції векторного аргументу.

Б. Лінійні оператори.

4. Функція як узагальнення бінарної операції $A \cdot x = 0$
5. Розв'язок рівняння $A \cdot x = b$.
6. Обернений елемент A, тобто A^{-1}; обернена функція A^{-1}.
7. Композиція функції – алгебра матриць.
8. Матричні нерівності.

IY. Інваріантний відносно оператора підпростір

9. Для даного лінійного оператора знайти інваріантний підпростір (власний вектор та власне значення –проблема власних значень: загальна та часткова).

Таблиця 15

Представлення ММ "Дискретні логічні моделі" за допомогою математичної структури $M = \{E, R\}$

"Природа" елементів E	Унарні відношення R_1		Бінарні відношення (унарні операції) R_2		Тернарні відношення – бінарні операції R_3							Функціональні відношення
1.Булева алгебра												
					логічне "АБО"(операція "додавання") $x + y$ $(x \vee y)$			логічне "І" (операція "множення") $x \cdot y$ $(x \& y)$				
					Властивості		Елементи	Властивості			Елементи	
Логічні (булеві) змінні $\{x\}$	"0"	"1"	*Рівність* множин ("=")	унарна логічна операція "заперечення" $\bar{x}$	асоціативності	комутативності	нейтральний (0)	асоціативності	комутативності	дистрибутивності	нейтральний (1)	Булева функція $z = f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$
				$x + \bar{x} = 1$ $\overline{\bar{x}}$	$(x+y)+z=x+(y+z)$	$x + y = y + x$	$0 + x = x$	$(x \cdot y) \cdot z = x \cdot (y \cdot z)$	$x \cdot y = y \cdot x$	$x \cdot (y + z) = x \cdot y + x \cdot z$ $x + (y \cdot z) = (y + z) \cdot (x + z)$	$1 \cdot x = x$	
2.Часові булеві функції												
$\{x\}, t_i$	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-
3.Рекурентні булеві функції												
$\{x(t_i), y(t_i)\}$	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-
4. Автомати												
$\{x(t_{i-1}), y(t_{i-1}), s(t_i) = y(t_i)\}$	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-	-#-

іогічні (булеві) змінні – це елементи, що можуть приймати лише одне із двох (дискретних) значень "0" або "1";

– це дискретний час (*такт роботи*);

)" та "1" – виділені на множині E особливі елементи.

Таблиця 16

Задачі обчислювального характеру ММ "Дискретні логічні моделі"

1. Звичайні булеві функції

I. Операції:
1. Виконання логічних операцій над булевими змінними та перетворення булевих виразів (булевих функцій) з використанням властивостей операцій.
2. Чи еквівалентні (за своїми таблицями істинності) два булеві вирази (дві булеві функції).

II. Перетворення форми подання моделі:
3. Перехід від аналітичного запису булевої функції (многочлену, форми) до її таблиці істинності.

III. Підмножини:
4. Знаходження розкладу заданої (однієї) булевої функції через інші – базисні булеві функції (за елементами підмножин) – мінімізація однієї булевої функції.
5. "Чи є таблиця істинності однієї булевої функції підмножиною таблиці істинності іншої булевої функції?".

III. "Взаємодія" двох (чи більше) "Підмножин" між собою:
6. Мінімізація системи булевих функцій.

2. Часові булеві функції

0. Задачі, що виникають в булевій алгебрі як підмножині часових булевих функцій

I. Операції:
7. Перехід від ЧБФ до звичайної БФ.

3. Рекурентні булеві функції

0. Задачі, що виникають в булевій алгебрі як підмножині рекурентних булевих функцій

4. Скінченні автомати

0. Задачі, що виникають в булевій алгебрі як підмножині скінченних автоматів

1. Підавтомат.

Ми розглянули лише частину базових математичних структур та відповідних їм обчислювальних задач, що покладені нами в основу типології математичних моделей технічних систем. (друга частина буде наведена у наступному номері журналу). На основі представленого матеріалу можна зробити висновки:

- в основу типології математичних моделей технічних систем покладено поняття математичної структури $M = \{E, R\}$ – фундаментальне поняття математики;
- конкретні математичні реалізації множини елементів E та множини відношень R (див. вище наведені таблиці) утворюють, так би мовити набір "кубиків" – набір базових математичних структур;
- із набору базових математичних структур за допомогою їх поєднання, комбінації, нарощування і т. д. можуть будуватися більш складні структури. Тут можна провести аналогію з мозаїкою, в якій із базових елементів (свого роду "кубиків") складається як завгодно складна n-вимірна структура. Така особливість запропонованої нами систематизації ("мозаїки") ММ відрізняє останню від відомих в літературі класифікацій, які, в основному майже завжди, зводяться до строгої ієрархії (а не "мозаїки") моделей;
- з кожною математичною структурою (математичною моделлю) пов'язується набір обчислювальних задач, зміст якого, фактично, визначається змістом (структурою) математичної структури. (У відомих з літератури класифікаціях ММ ми також цього не спостерігаємо);
- структура змісту обчислювальних задач подана у такому виді, що можна помітити аналогію між окремими задачами для різних математичних структур, наприклад, між задачами визначення "підмножини" для МС "Абстрактні множини" та "простих чисел" для МС "Числові системи", "зведених поліномів" для МС "Поліноми", "базису" для МС "Векторний простір" тощо. Виявлення такої аналогії, на наш погляд, може бути корисним не тільки для більш глибокого розуміння теорії певної математичної структури, але й для розробки відповідних чисельних алгоритмів;

- можна провести також певну аналогію між покладеними в основу запропонованої типології ("мозаїки") об'єктами (МС та ОЗ, "кубиками") та поняттям "класу об'єктів", що використовується у сучасній технології об'єктно-орієнтованого програмування (ООП). Як відомо, однією із особливих рис ООП є можливість, так би мовити, будувати із готових "кубиків" – програмних об'єктів – складні "мозаїки" – об'єктно-орієнтовані програмні комплекси. Причому, характерним є те, що класи об'єктів являють собою поєднання структур даних та задач їх обробки, тобто саме те, що покладено нами в основу типології ММ ТС – математичних структур та відповідних їм обчислювальних задач;
- можливість представлення запропонованої типології у вигляді набору "класів об'єктів ООП" показує, що запропонована типологія має не тільки теоретичне значення, але й практичну цінність – вона дозволяє використати сучасну технологію об'єктно-орієнтованого програмування для реалізації програмного комплексу – інструменту дослідження ММ ТС.

Вказані особливості запропонованої нами типології математичних моделей технічних систем відрізняють останню від відомих в літературі класифікацій, а її практична направленість дозволяє взяти її за основу для побудови програмного комплексу моделювання ТС.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Колодницький М.М.* Типологія математичних моделей технічних систем. Частина 1 // Вісник ЖІТІ, 1997. – № 6. – С. 130–142.

КОЛОДНИЦЬКИЙ Микола Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри ПЗОТ, докторант Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– математичне моделювання технічних систем, комп'ютерні інформаційні технології.