

**ЯКОВЕНКО Валерій Борисович, доктор технічних наук, професор**

Народився 23 березня 1951 р. в м. Ромни Сумської області.

В 1973 р. закінчив Харківський політехнічний інститут за спеціальністю динаміка і міцність машин.

Працював у Харківському конструкторському бюро по двигунобудуванню ім. Малишева, займався дослідженням танкових двигунів.

З 1975 р. у КНУБА на посадах наукового співробітника, асистента (1978 р.), доцента (1983 р.), професора (1996 р.). Професор Національного технічного університету КПІ (з 1995 р.) та Європейського університету (з 1993 р.).

Автор 3 монографій, 6 учбових посібників, понад 80 статей.

Основні напрямки наукової діяльності: моделювання і розрахунок вібраційних систем, моделювання динамічних систем методом мови графів зв'язків, інноваційні системи

### **ЯКОВЕНКО В.Б. МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ МОВИ ГРАФІВ ЗВ'ЯЗКУ**

Моделювання є однією з головних складових частин наукового методу пізнання. Відомо, що якісна і ґрунтовна освіта не можлива без надійного і творчого засвоєння наукового методу. На цій підставі потрібно звернути увагу до вивчення нових методів процесу моделювання, що дає змогу практично, власним досвідом відчутти переваги та потужність наукового методу.

Отже розглянемо феномен моделювання спираючись на досягнення в різних галузях науки з тим, щоб визначити значення та вагу сучасного стану моделювання у освітянській практиці.

Питання моделювання розглядаються у різних наукових дисциплінах, зокрема філософії, системології, теорії алгоритмів, теорії управління, теорії динамічних систем та інших. Головним чином тут, сформувався методологія моделювання.

Коротко нагадаємо головні здобутки моделювання як окремого явища у процесі освіти.

Моделювання явища здійснюється на рівні об'єкту або процесу. Згідно з цим розрізняються два типи моделей об'єктів та процесів – фізичні і абстрактні.

Фізичні моделі утворюються з використанням різноманітних фізичних об'єктів з подібними або схожими явищами, але можливо іншої природи. Фізичні моделі існують завдяки існуванню просторово-часового контінууму, який є спільним для множини різноманітних явищ.

Традиційним прикладом фізичної моделі математичного маятника є електричний коливальний контур, подібно складаються відношення між хижаками та жертвами у біології. Мислено розширюючи просторово-часовий конінуум можна сягнути у аналогіях до зоряних систем або етичних та релігійних норм. Так у євангельській притчі про критику первосвящеників та книжників механічна модель каменя сягає аналогії конфліктуючих відношень між індивідом та групою. "Камінь, у який облишили

будівники, став, головою куту. Бо кожний, що натрапить на той камінь розіб'ється, а на кого вічно паде того роздавить". (Єв. від Луки 20.17).

Абстрактні моделі являють собою опис об'єктів досліджень на певній мові. На відміну від фізичної моделі, компонентами якої є конкретні фізичні елементи, абстрактна модель являє собою теж множину компонентів але у вигляді символів понять, що складають мову.

Таким чином пошук подібностей можна здійснити серед фізичних об'єктів, або навпаки помітивши подібність відношень понять однієї галузі відобразити ці відношення на іншу галузь і спрямувати на поведінку її об'єктів.

Відомими прикладами абстрактних моделей людських почуттів є музика. Індивідуальна мова сприйняття навколишнього світу, як абстрактна модель відтворюється художником у творах живопису. Велику кількість абстрактних моделей побудовано мовами високого рівня у комп'ютерних технологіях. З цієї точки зору сучасна інформатика – це висока технологія.... різноманітних абстрактних моделей.

Отже слід зазначити, що моделювання, як засіб порівняння, є універсальним методом пізнання. Але поряд з цим існує відоме застереження Платона: "Для людини обережної треба більше всього стеретись у відношенні до подібності тому, що це сама слизька галузь" (Платон. "Софіст").

За рівнем моделювання можна розрізнити структурні, логічні та кількісні моделі. Поєднання множин типів моделей та рівнів моделювання, тобто одночасний розгляд явища моделювання як об'єкту і процесу дає можливість відокремити ряд видів моделей, таких як: гносеологічна, інформаційна, сенсорна, концептуальна, математична. (рис. 1).

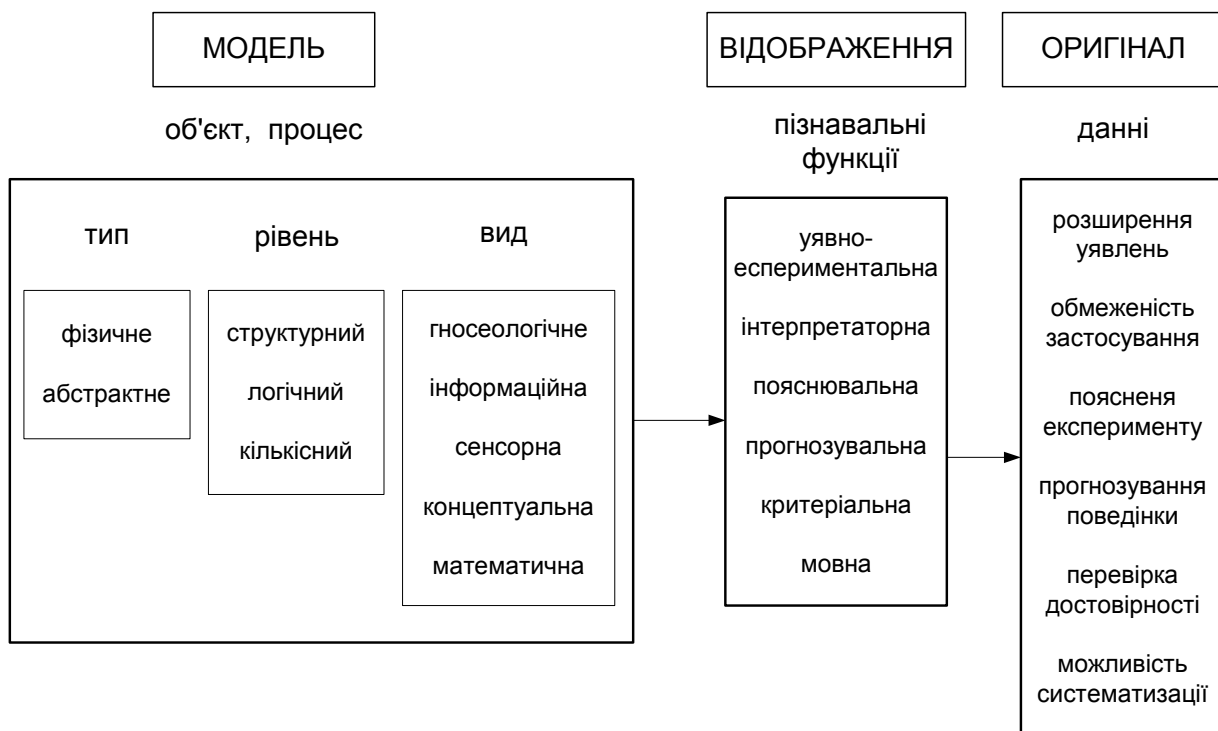


Рис.1. Множина структури моделювання

Розглянемо більш детально ці види моделей.

Гносеологічна модель спрямована на вивчення системи об'єктивних законів природи і явищ.

Інформаційна модель потрібна для опису змісту, складу, основних функцій явища.

Сенсорна модель визначає методичні та інструментальні можливості отримання експериментальної, дослідницької інформації про функціонування.

Концептуальна модель визначає причинно-слідкові зв'язки, що притаманні явищу. На концептуальному рівні можливе ґрунтовне визначення цілі досліджень як відокремленого наслідка.

Математична модель – це абстрактне уявлення об'єкту або процесу на мові математичних понять відношень. Ця модель визначає форму функціональних залежностей, що притаманні концептуальній моделі.

Обравши вид моделі необхідно перейти до побудови відображення, що визначає вибір такої множини пізнавальних функцій, які гарантують отримання потрібних відомостей про оригінал явища. Цей шлях вельми суб'єктивний і головним чином залежить від досвіду та майстерності дослідника. І тому з цього погляду теорія науки подає низку перекладів вдалого моделювання видатними вченими, які ретельно вивчаються поколіннями послідовників як взірці.

Спроба узагальнення цього досвіду визначає можливий склад множини пізнавальних функцій та даних про оригінал моделі, як це наведено на рис. 1.

Разом з цим з методологічної точки зору можливо відрізнити два головних підходи до моделювання. Вони засновуються на стародавньому принципі, що для вивчення властивостей явища його потрібно розділити на якомога більшу кількість окремих простих частин. Це дає змогу відокремити у явищі властивості від структури зв'язків і таким чином створити нові можливості дослідження. Таким чином ця методологія заснована на протиставленні первинності частини і цілого.

Звідси слідкують два підходи до моделювання індуктивний, коли первинна модель цілого будується з окремих моделей частин і дедуктивний коли навпаки первинні моделі частин дають змогу будувати модель цілого.

Базуючись на наведеному опису системи моделювання та використавши досвід багатьох вдалих спроб побудови моделей можна визначити загальну методику побудови моделей у алгоритмічній формі. Вона складається з послідовного виконання наступних головних етапів.

Перший етап полягає у осягненні проблеми і постановці задачі, визначенні цілі дослідження, тобто у виборі тих головних якостей моделі, що обіцяють відтворити найбільш суттєві властивості явища. Цей вибір окреслює предметну галузь дослідження.

Другий етап вміщує збір накопичення та систематизацію вже відомої інформації про явище, або множину явищ. Наслідки цієї роботи фіксуються на рівні певної проблемно-орієнтованої системи понять, що складають мову галузі досліджень.

Третій етап полягає у побудові такого відображення, що визначає множину пізнавальних функцій моделі. Зупинимось більш докладніше на цих функціях (див. рис.1).

*Уявно-експериментальна функція* засновується на таких уявленнях, що приводять уявного експерименту є розгляд мікро-спостерігачів або виконавців, що діють у масштабах дискретизації системи (демон Максвелла, Кремлівська таблетка).

*Інтерпретаторська функція* полягає у визначенні кола обмеженості дії моделі, наприклад, відома обмеженість неспроможності механічних моделей у розгляді соціальних явищ.

*Пояснювальна функція* проявляється у можливості теоретичного пояснення експериментальних даних і фактів. Наприклад, теоретичне узагальнення одним дослідником експериментальних фактів отриманих іншими. У цьому випадку модельне пояснення перетворюється у теорію певної множини явищ.

*Прогнозувальна функція* моделей проявляється у можливості передбаченні наслідків явищ та протікання процесів.

*Критеріальна функція* моделі виконується тоді, якщо можливо з її допомогою перевірити дійсність відомостей про оригінал. Ця функція щільно пов'язана з метрологією і повинна узгоджуватись з множиною моделей вимірювальних засобів та дослідницьких методик. Тільки у цьому випадку можлива адекватна перевірка гіпотез та відтворення чужих експериментів.

*Мовна функція* моделей розділяється на дві частини по засобам кодування інформації на синтаксичну, а по змісту відомостей – семантичну.



Вибір тієї чи іншої множини пізнавальних функцій при побудові моделі складає мистецтво дослідження. Тут часто використовуються обмеження, модельні аналогії та інші суб'єктивні дії. На виході цього етапу отримується модель явища, що підлягає подальшому вивченню і дослідженню.

Четвертий етап полягає в дослідженні моделі. На цьому етапі модель перетворюється у інструмент дослідження. Спостереження, досліди, обчислення, катастрофічні обставини протиставляються дослідженню реальної системи. На цьому етапі намагаються отримати як можна більше інформації для того, щоб порівняти з існуючою інформацією про оригінал явища.

П'ятий етап моделювання складається у визначенні можливості переносу відомостей отриманих на моделі на поведінку оригіналу. Традиційною є експериментальна перевірка теоретичних даних. Успіхом такого переносу можна вважати досягнення хоча б одного рівня з слідуючих даних про оригінал: розширення уявлень про явище, галузь обмеженості застосування, пояснення експерименту прогнозування поведінки перевірка достовірності, можливості систематизації.

Таким чином коротко процедура моделювання полягає у виконанні такої множини дій: визначення цілі; вибір, аналіз, порівняння, перенос. Тобто моделювання складається з актуалізації відомостей про оригінал, зазначення протиріч у його описі і визначенні цілі, констатації неможливості досягнення нових цілей засобами старих моделей; вибір, або побудова нових моделей, дослідження моделей порівняння і перевірку дійсності отриманих даних, перенос даних на оригінал розширення уявлень і відомостей про оригінал, пояснення та виключення протиріч.

Отже загальний процес побудови моделей полягає у виконанні слідуючої процедури:

- формулювання проблеми, визначення цілей і меж застосування, аналіз минулого досвіду;
- декомпозиція явища та побудова абстрактної моделі у обраній множині понять;
- трансляція моделі на проблемно-орієнтованій мові моделювання;
- аналіз моделі, отримання даних про явище;
- верифікація моделі порівняння та перевірка даних, отриманих на абстрактній моделі з об'єктивними фактами та даними експериментів;
- інтерпретація даних, побудова нових висновків та оцінка наслідків явищ;
- реалізація та документування або організація змоги практичного використання результатів моделювання у інших дослідженнях або галузях.

Безперечно, що наведена процедура моделювання узагальнює вдалих, а часом гіркий досвід багатьох поколінь дослідників. Певною мірою ця процедура є фундаментом наукового методу. Та водночас, навіть на цьому рівні узагальнень еволюція суспільства створює потреби у подальшому розвитку наукового методу, зокрема методології моделювання. Зараз на кінці сторіччя, повертаючись назад і уважно переглянувши подоланий шлях можна помітити деякі цікаві тенденції у розвитку методів моделювання, що притаманні останнім десятиріччям. Розглянемо більш детально ці тенденції, щоб створити підґрунтя для творчого використання сучасних надбань у моделюванні. На наш погляд таке історичне, ретроспективне уявлення про моделювання дуже важливе для організації творчої освітянської діяльності.

Отже розвиток яких рис процедури моделювання характерно для нашого часу. Звернувшись до огляду праць по цьому напрямку можна зробити висновок, що друга половина нашого сторіччя відрізняється розвитком структурного рівня моделювання на основі топологічних методів та теорії графів. Це стосується багатьох наукових напрямків: діаграми Р.Фетнмана у квантовій механіці і теорії поля; формалізм сигнальних графів Шенона-Мезона у теорії ланцюгів; топологічні узагальнення теорії ланцюгів у роботах Трента, застосування лінійних графів для аналізу складних динамічних систем автоматизованого управління в роботах академіка Б.Н.Петрова, розвиток структурної теорії електромеханічних систем. Г.Кенигом, В.Блекуелом, Н.Кесаваном, Я.Токадою,

теорія просторових механічних систем Л.К.Лілов, структурні методи моделювання з використанням графів набули розвитку в роботах Робішо Л., Буавера М., Робера Ж., В.В.Солодовнікова, Г.С.Поспелова, А.С.Шаталова, Л.Т.Кузіна, А.Г.Остапенко, А.Є.Божко, Н.Ф. Ільїнського, В.К.Цаценкіна, Є.А.Арайса, В.М.Дмитрієва, Сешу Р., Ріда М., вітчизняний пріоритет застосування графів у електронній техніці належить В.П.Сігорському.

Значне поширення методів теорії графів у різних наукових школах і напрямках відбувається завдяки працям Крона Г, Хеппа Х., що розвинули метод ..., що полягає у принциповій можливості дослідження складних систем по окремим частинам.

Критично оглядаючи розвиток досліджень у застосуванні теорії графів до моделювання можна зазначити, що ці методи вже пройшли часи модного захоплення, в багатьох дисциплінах вони надійно увійшли в арсенал моделювання і потребують подальшого розвитку.

Теорія графів як фундаментальна математична дисципліна, безперервно і інтенсивно розвивається, отримуються нові результати, що вимагають втілення у розвиток інших галузей науки і освіти. Таким чином структурний рівень моделювання, завдяки загальному розвитку комп'ютерних технологій вдало доповнений концепцією проблемно-орієнтованої мови у дослідженнях Т.Пейнтера, Д.Керноги, Р.Розенберга, що створили нову мову моделювання методами графів зв'язку.

Слід зауважити про дві головні риси цього підходу; граф зв'язку, це певний тип графів, що забезпечує побудову структурних моделей у вигляді дерев з легким розвитком до векторного і тензорного рівня; мовний рівень моделювання гарантує міждисциплінарний підхід, тобто можливість створення моделей динамічних систем різноманітної фізичної природи від механічних до біологічних, економічних і соціальних.

Обраний напрямок вийшов досить вдалим і за тридцять років свого існування мова графів зв'язку розповсюдилась по світу, створивши власне наукове середовище (рис.2).

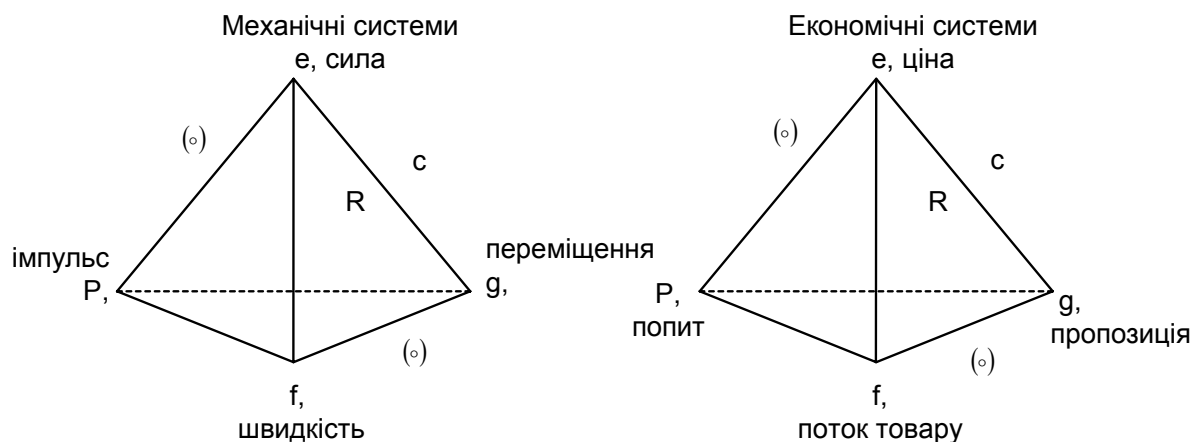


Рис. 2

Зараз вона успішно використовується у понад 17 країнах світу у дослідженнях Ю.Тома, А.Мартенса, Ю.Орта, А.Перельсона, Д.Ауслендера, Р.Бридвелда, Д.Маргуліса, Л.Бондерсона та їх чисельних учнів і послідовників. Цій окремій тематиці присвячено 3 спеціальних випуски стародавнього і престижного американського журналу Journal of the Franklin Institute ( vol. 308, 319, 328; 1979,..1991 р). За бібліографічним оглядом за 40 років існування цього наукового напрямку в світі надруковано понад 500 статей, створено 20 пакетів комп'ютерних програм орієнтованих саме на цю ідеологію моделювання. Випущено декілька монографій і підручників, регулярно проводяться наукові семінари і конференції, готуються наукові кадри.

В останній час у серії статей С.Биркета і Р.Рое запропонована математична теорія, яка стверджує, що граф зв'язку і звичайні граф це тільки два різних засоби відображення структурної комбінаторної теорії. На сучасному рівні розвитку методу графів зв'язку можна стверджувати, що ці методи за своїми прикладними можливостями і



ресурсами еквівалентні з тією різницею, що графи зв'язку більш наглядно відображають структурну інформацію. Наочний розподіл структурної і якісної фізичної інформації покладений у основу ідеології графів зв'язку.

Зважаючи на ті обставини, що цей напрямок моделювання у практиці вітчизняної освіти не розвивається, на факультеті авіаційних і космічних систем

Національного технологічного університету "Київський політехнічний інститут" і на факультеті автоматизації та інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури впроваджено науковий семінар "Моделювання систем мовою графів зв'язку" та розроблена програма навчального курсу "Моделювання динамічних систем методами графів зв'язку", що впроваджена у практику викладання. За цим напрямком проводяться дослідження у галузі моделювання динамічних систем. Методи мови графів зв'язку вдало застосовуються у викладанні розділів курсу теоретичної механіки. Протягом останніх років з цього напрямку видані три монографії, учбовий посібник, декілька наукових статей.

Отже досвід застосування новітніх ідеологій структурного моделювання, що мають світове поширення і інтенсивно розвиваються дає змогу зробити висновок про доцільність поширення цього напрямку і його широкого впровадження у практику освіти в Україні. Стратегія реформування освіти потребує не тільки структурних змін, а й виходу на світовий рівень за змістом. Активне впровадження сучасних методів моделювання надійний шлях збереження і забезпечення світового рівня освіти України.

Концепція мови графів зв'язку як методу структурного моделювання систем різноманітної природи базується на енергетичних уявленнях про неперервність потоку енергії при функціонуванні системи.

Універсальність опису систем забезпечується використанням енергетичних змінних: потенціальної  $e(t)$  і потокової  $f(t)$  як функцій часу  $t$ .

Головна символіка мови графів зв'язку має слідує позначення: джерела енергії  $S_e$ ,  $S_f$ , концентратори енергії I, R, C, перетворювачі енергії TF, GY, перехідні структури S, P).

Таким чином у основу мови закладені топологічні уявлення про неперервність існування, перетворення і збереження енергії. Енергія визначається як універсальна характеристика систем різної природи від механічних до економічних, характеризується множенням  $ef$ , що відтворює її потік або швидкість розповсюдження у просторі.

Найбільш суттєві властивості мови графів зв'язку можна показати за допомогою пірамід Т.Пейнтера.

Порівняння цих пірамід створює систему механіко-економічних аналогій, що має важливе значення для забезпечення рівня безперервності освітнього простору. Таким чином досягається змога щільного взаємного проникнення та поглиблене сприйняття різних навчальних дисциплін. Це сприяє формуванню цілісного погляду на природу, зміст, значення різноманітних явищ. Таким чином засвоєння методів мови графів зв'язку розширює якість використання методів моделювання у різних навчальних дисциплінах, переконує у потужності наукового методу, забезпечує гармонію у сприйнятті різних навчальних дисциплін як запоруки формування цілісної освіти особистості.

### Література

1. Яковенко В.Б. Введение в инновационные технологии, КЭУ, 2004.
2. Яковенко В.Б. Элементы прикладной теории вибрационных систем. Наук. думка, 1992.
3. Яковенко В.Б. Моделирование динамических систем методом языка графов связи, 1994.
4. Яковенко В.Б. Теоретична механіка, 1995.