

Об'єктно-орієнтований підхід: історія, міжпредметні зв'язки, аналогії та його місце в сучасних психолого-педагогічних моделях

Інститут психології імені Г.С.Костюка НАПН України

Анотація

В роботі розглядаються історичні передумови створення об'єктно-орієнтованого підходу (ООП), що склався не тільки на ґрунті логіки та програмування, але й психології та частково фізики. Розглядаються прикладення ООП до різних наук та його місце в межах сучасної природничо-математичної освіти з одночасним пошуком міжпредметних зв'язків. Наводяться й зв'язки з психологією та педагогікою. Розглядається концепція «об'єктного світу» А.Кея, вказано, що її адекватність зумовлена існуванням фізичних аналогій між процесами різної природи.

Ключові слова: ООП, «об'єктний світ», об'єкти, математичний об'єкт, фізична аналогія, фрейм, інформаційно-комунікативні системи, когнітивна психологія, інженерна психологія, когнітивні моделі

Abstract

The historical preconditions for creating an object-oriented approach (OOA), which was developed not only on the basis of logic and programming, but also on psychology and, in part, physics are considered in the work. Applying the OOA to various sciences and its place within the framework of modern natural and mathematical education with the simultaneous search of inter-subject connections are considered too. Relationships with psychology and pedagogy are also demonstrated. The "object world" concept by A. Kay is considered. It is stated in the article that its adequacy is determined by the existence of physical analogies between processes of different nature.

Keywords : OOA, "object world", objects, mathematical object, physical analogy, frame, informational-communicative systems, cognitive psychology, engineering psychology, cognitive models

Постановка проблеми

Один з методів опису складних систем, що сформований майже півсторічною історією – ООП (об'єктно-орієнтований підхід). Він з'явився в рамках методології програмування, на перетині логіки та кібернетики, й завойовує все нові сфери застосування. ООП – являє собою метод науково-пізнавальної й творчої діяльності, що відображає природні зв'язки й відносини між предметами і явищами в тій мірі, в якій вони усвідомлені дослідником у контексті розв'язуваної задачі [1]. Базовими елементами при моделюванні складних систем за допомогою ООП є об'єкти і класи. Під об'єктами мається на увазі розширення фреймового підходу – це особлива сутність, що складається з даних і методів їх обробки. Клас – узагальнення подібних об'єктів. При моделюванні за допомогою ООП предметна область замінюється віртуальним об'єктним описом.

Побудувати систему із застосуванням об'єктно-орієнтованого підходу – це значить проаналізувати проблему і знайти об'єкти, що описують систему. Загальні характеристики системи описують та формалізують у вигляді класу [2, 3]. В ООП всі сутності розглядаються як об'єкти, що можуть існувати як в реальному світі, так і бути абстрактними.

Об'єктний підхід служить розширенням підходу фреймів. Ось чому «об'єкту» дають визначення схоже з таким у фрейму. Об'єкт – поняття, абстракція або будь-яка річ з чітко окресленими границями (в понятійно-логічному розрізі – прим.авт.), що мають сенс в контексті даної прикладної проблеми [4].

Технології програмування, типи даних й об'єктно-орієнтований підхід в програмуванні, його місце в теорії та практиці розкривали відомі українські вчені: К.Л.Ющенко, О.Л. Перевозчикова, Г.О. Цейтлін, К.М.Лаврищева, І.В.Вельбицький, О.І.Халілова, В.О. Гречко, В.Г.Тульчинський, П.Г. Тульчинський [5; 6; 7; 8], проблеми дидактики програмування, зокрема й ООП : Ю. С. Рамський, М.І. Жалдак, С.О.Семеріков, З. С. Сейдаметова, І. М. Лукаш, А.О.Стогній та інші [9;10;11]. Над проблемами комп'ютерного навчання, проектування віртуальних навчальних середовищ, теорії мов програмування плідно працювали й психологи: Ю.І.Машбиць, М.Л.Смольсон, М.І.Жалдак,

О.Ю.Комісарова, В.В.Андрієвська [12;13;14;15;16;17]; психолінгвістики і герменевтики: Н.В.Чепелева, Т.М.Титаренко, С.Ю.Рудницька [18;19].

З ростом популярності мов програмування, де застосовувалися методи ООП, педагоги стали пропонувати дидактичні підходи до його вивчення студентами. Виділимо тут дисертацію І.М.Аржанова [20] з теорії та методики навчання студентів педагогічних ВНЗ, підходи до побудови навчальних курсів з інформатики в школах різного рівня були запропоновані Н.В. Макаровою [21]. А.А.Г. Степанов [22] пропонує аналізувати методами ООП всю предметну область інформатики з її міжпредметними зв'язками з метою побудови обґрунтованих навчальних курсів. Робота В.В.Василакіна присвячена моніторингу знань студентів за допомогою технології ООП [23]. У докторській дисертації О.В. Баранової вже ставиться більш глобальне завдання: «Використання об'єктно-орієнтованого проектування як теоретичної основи для розробки методології і технології ефективного структурування змісту навчання засобами інформаційних технологій в умовах інтенсифікації інформаційних процесів» [24, с.3] і далі: «Аналіз можливих підходів на шляху вдосконалення навчання засобами інформаційних технологій привів до висновку про необхідність пошуку нового апарату, здатного забезпечити представлення змісту навчання цієї предметної області відповідно до сучасних принципів дидактики і адекватно предметної області в умовах інтенсифікації інформаційних процесів »[24, с.4]. Був перекинутий міст від технології ООП до методів дидактики. Зокрема була розроблена об'єктна модель дидактичної системи Б. Блума, яка визначає співвідношення між категоріями цілей навчання (знання, розуміння, застосування, аналіз, синтез).

Але, мабуть, самі перші досліди з прикладенням цього підходу до проблем педагогіки були зроблені ще одним із засновників ООП А.Кеем на початку 1970-х рр. Він вважав, що об'єктно-орієнтовані мови, перш за все Smalltalk, можуть бути застосовані для розвитку мислення дитини, оптимізації навчання, поліпшенню діалогу з електронно-обчислювальними машинами (ЕОМ) [25].

Застосування ООП можна відзначити і в прикладних питаннях фізики. Так П.Ю. Пушкарьов [26] вивчав додатки ООП з інтерпретації електромагнітних зондувань на комп'ютері. А.П. Колєватов застосував ООП до розробки навігаційних систем [27]. А.Ю.Філіппов відстоює прикладення ООП до розробки автоматизованої системи по формулюванню та розв'язанню фізичних задач і практикумів [28]. В.А.Семенов і співавт. для потреб моделювання складних фізичних систем розглядають їх ООП моделі [29]. Як приклад розглядали моделі гідродинаміки [30]. Корчевська і Маркова пропонують використовувати нову мову Rust з об'єктними принципами для розв'язання задач лінійної алгебри та математичної фізики [31]. У статті Ю.А. Вишневського і В.І. Пожуєва описуються проблеми, з якими доводиться стикатися при чисельному розв'язанні задач математичної фізики. Аналізуються алгоритми на основі ОО-мов програмування [32]. Звернемо увагу й на Diffpack [33], який є об'єктно-орієнтованим і проблемно-розв'язуючим оточенням для чисельного розв'язання диференціальних рівнянь в частинних похідних; також на ОО-пакет Трек 2 D з фізики твердого тіла [34]. Алгебро-граматичними методами знань про об'єкти та зв'язки предметної області займалися О.Л. Перевозчикова, В.О. Гречко, В.Г.Тульчинський, П.Г.Тульчинський.

Завдання дослідження

Аналіз літератури вказує, що при розробці теоретичних та прикладних проблем фреймового та об'єктно-орієнтованого підходів широко застосовуються методи теорії програмування, алгебри, логіки, лінгвістики; а застосування підходу широке від обчислювальної математики, фізики до педагогіки та когнітивної психології. Особливе місце в розвитку технологій ООП займає дидактика програмування.

Зрозуміло, що вирішальне місце в вивченні як теорії так і практики ООП за сучасною математичною та природничою освітою, разом з тим його розвідки в гуманітарних галузях не можна відкидати. На цьому тлі *важливим завданням* видається пошук міжпредметних зв'язків не тільки в традиційному напрямку «чисельні методи-програмування-алгебри», але й більш нестандартно – фізики та психології.

Як було сказано вище, розвиток педагогічних додатків методу ООП спочатку було пов'язано з інформатикою, навчанням програмуванню та роботі з обчислювальною технікою. Але в зв'язку з розвитком комп'ютерних засобів навчання важливим став розвиток інтерактивних комп'ютерних курсів, де використовують все багатство мультимедіа : звук, зображення, текст тощо [35]. У цьому сенсі пильну увагу викликає концепція А.Кея *про можливість «об'єктного світу»* що втілений в

програми, де все конструкти: як текстові так і мультимедійні, а також обмін повідомленнями будуть об'єктами за структурою. *Завдання наступне : на якому ґрунті (окрім семантики мов програмування) може бути побудована ця спорідненість ? Як це впливає на дидактику програмування ?* Відповіді на такі запитання корисні також як для теорії побудови людиноцентричних інформаційно-комунікативних систем, так і в когнітивній та інженерній психології, ергономії для потреб теорії [36;37;38].

Мета даної публікації розглянути об'єктно-орієнтований підхід в межах різних наук, прослідкувавши його генезу та розвиток з метою створення та оптимізації природничо-математичних навчальних курсів і актуалізації міжпредметних зв'язків. Також у нас на меті дослідити концепцію «об'єктного світу» – спорідненості мультимедійних типів даних у дзеркалі концепції фізичних аналогій.

Основний виклад

В логіці та психології ще в 1930-х рр. були виділені «схеми» (Ф.Бартлетт), в 1940-х рр. ієрархічні «чарункові збірки» (Д.Хебб) і семантичні мережі (Р.Квілліан), в 1950–60-х рр. – вже фрейм (який знайшов широке застосування в когнітивній психології та лінгвістиці), а в 1970-х Р. Шенк – увів «сценарії» які розумілися як певні стереотипні способи поведінки. Фрейм в систематичному вигляді з'явився в роботах М. Мінського як «рамка представлення знань» (1969).

Уже на початку 60-х рр. ХХ століття було сформульовано дві концепції програмування: імперативна (в основі лежить поняття алгоритму та його виконання, це найбільш масова й усім знайома модель) і функціональна (в центрі обчислення функцій в її математичному сенсі, алгебраїко-логічна методологія). При імперативному підході в пам'яті комп'ютера ми маємо змінні та стани, що призводять до різних результатів при виконанні алгоритму. Процес обчислення в функціональному програмуванні – це обчислення значень математичних функцій. Функції задаються у вигляді списку, він і направляє весь обчислювальний процес. Маючи функцію, її аргумент і опис функції завжди отримуємо однозначний результат. Замість покрокового алгоритму розв'язання задачі, задається специфікація розв'язання задачі (опис, проблема, результат). Якщо імперативний підхід – живе втілення кібернетичної концепції автоматів, то функціональний – теорії символічних перетворень. Функціональне програмування входить як частина до складу «декларативного програмування». Формально кажучи, декларативна програма є теорема, яку треба довести машинними методами.

Автором функціонального програмування вважається Джон Маккарті (1927–2011), він же і запропонував термін «штучний інтелект». У 1958 р. була створена функціональна мова програмування Lisp. Lisp працює з атомами (символами й числами), що об'єднані в списки. Списки організовані так, щоб зручно було зберігати ієрархічні (деревовидні) структури. Д. Маккарті в рамках логічної мови програмування Lisp запропонував конструкцію функціонального слоту – пов'язану з символами (сукупність імен) обробляючи їх функцію та «підставлені» в неї значення (дані). Функціональний слот став предтечею фрейму. Символ в Lisp це сукупність «слотів» у вигляді імен, функціональних слотів – так називають пов'язані з символами функції й значення (дані). Lisp-програма складається з послідовності виразів (форм). Lisp дозволяє створювати програми, які модифікують інші програми, тому мова використовувалась для створення інтелектуальних систем. Логічна основа цієї мови лямбда-числення А.Чорча [39]. В ньому терми (вирази в цьому численні) називалися об'єктами й склалися виключно зі змінних, які були побудовані на двох принципах: прикладення функції до цих змінних (аплікація), або побудови нової функції на основі заданих виразів (абстракція) [40].

В ті ж 1950-ті рр. американський фізик К.Трусдел розпочинає свої проекти по ревізії традиційних поглядів на механіку та термодинаміку. Однією з ідей було аксіоматична побудова підвалин механіки. Найближчий однодумець Трусдела – Уолтер Нолл створює аксіоматику ньютонівської механіки (20 аксіом) [41].

Механічний універсум Ω складається з тіл $A, B, C, \dots$. Знак $=$ означає тотожність тіл, а якщо тіло A є частиною тіла B , то пишуть: $A < B$. Відношення $<$ надає Ω властивості структури часткового порядку, з наступними властивостями (аксіоми тіл):

Аксіома T1: $A < A$ (будь яке тіло є частиною самого себе);

Аксиома T2: Якщо $A < B$ та $B < A$, то завжди $A = B$ (будь яке тіло не є частиною ніякої іншої своєї частини);

Аксиома T3: Якщо $A < B$ та $B < C$, то завжди $A < C$ (частина від частини деякого тіла також є його частиною). З'єднанням тіл A та B називається тіло $A \vee B$, для якого A та B є його частинами й яке є частиною будь якого іншого тіла, для якого A й B є частинами.

Накладанням тіл A й B називається тіло $A \wedge B$, яке є частиною як A так і B , й для якого будь яка інша спільна частина A та B є його частиною.

Тіло $\emptyset$ називається нульовим, якщо воно є частиною будь якого іншого тіла з Ω . Тіло ∞ називається всеосяжним, якщо будь яке тіло з Ω є його частиною. Нульове та всеосяжне тіла необхідні для формального замикання алгебри тіл і якщо був у висхідному універсумі їх не було б, то його завше можна поповнити такими телами. Тіла, які не мають спільних частин окрім $\emptyset$ називаються окремими.

Аксиома T4: Для будь якого тіла A з Ω існує єдине тіло A^e , яке зветься зовнішністю тіла A , таке, що

$$A \wedge A^e = \emptyset, A \vee A^e = \infty$$

Аксиома T5: Єдиними тілами, відокремленими від A^e , є частини тіла A .

Аксиома T6: Для будь якої пари тіл з Ω накладення завжди існує.

Маса тіла A – це значення $M(A)$ деякої функції M , визначеною на універсумі тіл з масою Ω_M , що задовольняє наступним властивостям (аксіомы маси):

Аксиома M1: Для будь якого тіла A з Ω_M $0 \leq M(A) \leq \infty$;

Аксиома M2: $A \in \Omega_M \Rightarrow A^e \in \Omega_M$; $A_1, A_2 \in \Omega_M \Rightarrow A_1 \vee A_2 \in \Omega_M$

Аксиома M3: Якщо A_1 и A_2 – відокремлені один від одного тіла з масою, то $M(A_1 \vee A_2) = M(A_1) + M(A_2)$.

Розглянемо множину пар відокремлених тіл з Ω . Таку множину можна позначити як $(\Omega \times \Omega)_0$

Аксиома F1: Існує відображення $f: (\Omega \times \Omega)_0 \rightarrow V_f$, де V_f – тривимірний векторний евклідовий простір (простір сил). Вектор $f(A, B)$ називається силою, з якою тіло B впливає на A .

Аксиома F2: $f(A_1 \vee A_2, B) = f(A_1, B) + f(A_2, B)$ (принцип адитивності сили).

Аксиома F3: $f(B, A_1 \vee A_2) = f(B, A_1) + f(B, A_2)$ (принцип суперпозиції сили).

Зауваження: A_1, A_2 й B – попарно відокремлені тіла.

Якщо ввести рівнодіючу силу $f(A, A^e)$, що діє на деяке тіло A з боку його оточення, то, в загальному випадку, ця рівнодіюча не задовольняє властивості адитивності:

$$f(A_1 \vee A_2, (A_1 \vee A_2)^e) = f(A_1, (A_1 \vee A_2)^e) + f(A_2, (A_1 \vee A_2)^e) \quad (1)$$

Теорема (Нолл) Система сил в універсумі задовільняє умовам $f(A, B) = -f(B, A)$, якщо рівнодіюча адитивна, тобто якщо ли для довільних попарно відокремлених тіл виконується умова (1) (адитивність результуючих сил).

Наслідок. Третій закон Ньютона виступає як наслідок принципів адитивності та суперпозиції сил.

Аксиома F4: Для кожного $A \in \Omega$ функція $f(\cdot, A^e)$ є векторнозначною мірою на A .

Група аксіом динаміки вводяться після стандартного введення: системи відліку, законів перетворення швидкостей і прискорень, сил, визначень імпульсів, моментів і енергії і т.д.

Зауваження: Далі зірочка позначатиме величини, що задаються в якійсь новій системі відліку.

Аксиома 1: Маса не залежить від системи відліку: $M = M^*$ (інваріантність маси).

Аксиома 2: Сила не залежить від системи відліку: $f^* = Qf$, где Q – ортогональне перетворення простору (коваріантність сили).

Іншими словами, сили є тензорами щодо ортогональних перетворень координат простору.

Аксиома 3: При будь-якому співвідношенні сил тілам потужність системи сил, що діють на кожне тіло, не залежить від системи відліку (інваріантність роботи): $A^* = A^* \cdot$.

Зауваження: сили інерції розглядаються в цій системі на рівних правах з іншими силами, в тому числі й щодо можливості здійснення ними роботи. Без урахування цієї обставини вимога інваріантності потужності в загальному сенсі помилкова.

Аксиома 4: Існує система відліку (інерціальна), така, що якщо на деякому відкритому інтервалі часу $p(B) = \text{const}$, то на цьому інтервалі $f(B, \Sigma^e) = 0$ й навпаки (перший закон Ньютона). Тут $p(B)$ – імпульс тіла B , Σ – деяка підсистема Ω , що включає тіло B , яке підлягає вивченню.

Аксиома 5: В інерціальній системі відліку $f(B, \Sigma^e) = p'(B)$ (другий закон Ньютона).

Аксиома 6 Внутрішня енергія тіла E та потужність тепловиділення Q' не залежать від системи відліку.

Аксиома 7 $E' = A' + Q'$ (перший початок термодинаміки в диференціальній формі).

Таким чином, в аксіоматиці Нолла є: 6 аксіом тіл, 3 аксіоми мас, 4 аксіоми сил, 5 аксіом динаміки і 2 аксіоми енергії. Разом: 20 аксіом. [42]

Цю систему ми наводимо лише як приклад алгебраїчної системи, де намагаються урахувати й фізичні закономірності середовища, а не тільки зорові (оптичні) образи. Бо механічний універсум формує досвід людини не менше ніж просте зорове сприйняття, але й надалі детермінує форми його активності в світі. В механічному універсумі діють і тварини, і створені людиною машини.

Діяльність Трусдела та його послідовників викликала різні думки – від категоричного неприйняття до палкої прихильності. Висловлюються й судження, що така аксіоматизація зайва, й традиційні погляди цілком влаштовують додатки з царини механіки та техніки. Суперечки навколо аксіом та підвалин класичної механіки Ньютона періодично активізуються, а потім вщухають. Разом з тим, автор не відчуває себе компетентним ґрунтовно їх коментувати. Як би там не було, аксіоматика Нолла дала поштовх алгебраїчному тлумаченню тривимірних сцен – дала точні визначення перетину та частини тіл, їх меж, накладення тіл, зовнішності, сили тощо. Звичайно, що були створені й схожі аксіоматичні системи, але «ноллівська» найбільш відома. Ці роботи готували дослідження з машинної графіки.

В 1963 р. в США Айваном Сазерлендом була створена перша система автоматизованого проектування (САПР, CAD) «Sketchpad», яка мала перший в світі графічний інтерфейс, й за допомогою якої можна було створювати тривимірні моделі та оперувати ними [43]. Ґрунтуючись на методі візуального проектування Сазерленд ввів поняття «об'єкт» як графічного примітиву до елементів якого (ліній, дуг, кіл, кривих, ламаних) можна було прив'язати ті чи інші математичні функції, проводячи з ними розрахунки. Об'єкт приймався за певну цілісність; при тому можна було будувати дублікати таких об'єктів. У разі ланцюжка дублікатів змінюючи що-небудь у висхідному об'єкті можна було змінити цю властивість і у всьому подальшому ланцюжку («успадкування»). Через вікна на екрані можна було оперативнo змінювати розміри графічної моделі – тобто мав місце перший інтерактивний діалог людини й ЕОМ [44]. Зв'язок об'єкта та функції був близький до ідей функціонального програмування. Бо ж тривимірну модель можна представити як візуалізацію певної математичної функції. Сазерлендівський «об'єкт» – абстрактна модель у якій дані об'єднані з функцією, яка їх обробляє. В 1965 – 1968 рр. А. Сазерленд працює професором в Гарварді, де разом із своїм студентом Б.Спроулом створює перший шолом віртуальної доповненої реальності. Реалізм що створював цей пристрій був невисокими (каркасні моделі), сам він був заважким й підвішувався до стелі й отримав назву Дамоклів меч [45;46]. З іншим студентом Д.Когеном був створений перший авіасимулятор (тренажер). Відомий французький математик А.Гуро теж був учнем Сазерленда. Він створив один з перших алгоритмів тонування тривимірних моделей. Тодішній його студент Ф.Кроу, що став відомий як винахідник методів згладжування графічних зображень з метою боротьби з їхньою «зубчастістю».

У 1967 р. норвежці К. Ногорд і О.-Й. Даль створюють першу об'єктно-орієнтовану мову Simula 67 (розширення мови Algol 60), де був тип даних «об'єкт» [47]. У 1966–68 рр. А.Сазерленд також працює в університеті Юти (США). В його дослідницькій групі працює Алан Кей. Його проблематика – діалог користувача і комп'ютера за допомогою графічного інтерфейсу [48]. Сазерленд захоплює молодого науковця своєю ідеєю «об'єктів» та когнітивними структурами взагалі. Тоді А. Кей приступає до розробки ще однієї об'єктно-орієнтованої мови програмування, відомої нині як Smalltalk (разом з Д.Інглас, Т.Каглером, А.Голдберґ). Він водночас зближується з С.Пейпертом (співпрацював з кібернетиком М.Мінським та всесвітньовідомим психологом Ж.Піаже). Пейперт став засновником мови програмування Logo, яка по сю пору вдало використовується для навчання дітей інформатиці [49]. За планами Smalltalk (як і Logo) повинні були вивчати діти: Кей навіть поставив серії дослідів за участю школярів. Smalltalk повинен був стати мовою концептуального навчального мікрокомп'ютера для школяра і студента (прообраз ноутбука та електронної книги) [50;51;52].

Але в «сазерлендівському об'єкті» тільки в вузькій смузі тривимірного моделювання спостерігалось точне співпадіння функції та її графічного образу, що давало в буквальному безпосередньому сенсі спиратися на ідеї функціонального програмування. Разом з тим в таких галузях як машинний зір, теорія розпізнання образів, психолого-педагогічні дисципліни, з'являлася інтерпретуюча інстанція (людина, технічна система, тварина), яка в силу об'єктивних причин лише розшифровує наочну ситуацію що сприймається оком (чи камерою).

Приблизно в ті ж самі часи коли працювали А. Сазерленд та його однодумці, над проблемами зорового сприйняття працює М.Мінський. В 1969 р. його роботи привели до формулювання поняття фрейму. Фрейм в Мінського – структура знань для сприйняття просторових схем (як в людини так і при розробці систем технічного зору). Мінський описував графічні (просторові) образи через семантичні схеми, які мали характер інтерпретативних систем. Ця модель (як і семантична мережа) має глибоке психологічне та педагогічне значення. Фрейм – це структуровані дані, абстрактний образ чи стереотипна ситуація; може бути моделлю поняття. До кожного фрейму приєднується кілька видів інформації. Частина цієї інформації – про те, як використовувати фрейм, що очікувати далі (прогноз). Відомо, що формування понять людини не вимагає чіткого визначення набору властивостей, а базується на понятті типу – певного окресленого кола явищ чи об'єктів. Психологічні дослідження вказують, що в процесі запам'ятовування люди організовують знання в структури, які відповідають типовим ситуаціям. Людина шукає інтерпретацію подій в межах існуючого для неї контексту. В довготривалій пам'яті людини зберігаються не конкретні еталони образів і тим паче не детальні ознаки цих образів («бабусині очі»), а деяке їх абстрактне подання в вигляді прототипів. Фрейм – є певним шаблоном, що міститься в пам'яті людини, що викликається з неї при виникненні нової чи змінненні існуючої ситуації. Зміст шаблону при цьому може бути адаптовано під нову реальність.

Якщо розглянути абстрактний образ, наприклад, «людину», то ми можемо вказати безліч параметрів, які можуть бути змінними – зріст, колір очей, довжина волосся тощо. Це «дірки» чи «слоти» в розглянутому нами фреймі. Водночас фрейм – це й формалізована модель абстрактного образу [53, р. 747, 808–809, 1176].

Розрізняють фрейми-зразки, або прототипи і фрейми-екземпляри, які створюються для відображення реальних ситуацій на основі даних, що надійшли в систему. Фрейми застосовують в декількох напрямках: фрейми-структури (для відображення об'єктів та понять), фрейми-ролі, фрейми –сценарії, фрейми ситуації. Мабуть найважливішою властивістю теорії фреймів є запозичене з теорії семантичних мереж успадкування властивостей. І у фреймах, і в семантичних мережах спадкування відбувається за т.зв. АКО-зв'язкам (A-Kind-Of = це). Слот «це» вказує на фрейм більш високого рівня ієрархії, звідки неявно успадковуються, тобто переносяться, значення аналогічних слотів. Значенням слота може бути: числа, формули, тексти на природній мові або програми, правила виводу або посилення на інші слоти даного фрейму або інших фреймів. Значенням слоту може бути й набір слотів більш низького рівня, що дозволяє реалізовувати у фреймових поданнях «принцип матрьошки». Виділяють спеціальний показник «батька» даного фрейму (IS-A). Показники наслідування містять дані про атрибути слотів з фрейму верхнього рівня, які успадковують слоти з аналогічними назвами в даному фреймі. Показники успадкування характерні для фреймових систем ієрархічного типу, часто засновані на відносинах типу «абстрактне – конкретне». Показники зазвичай мають значення : «не наслідувати», «наслідувати», «наслідувати при умові», «наслідувати якщо значення слоту лежить в інтервалі значень». Вказані властивості відповідають декларативним знанням. Процедурні знання описують за допомогою зовнішніх процедур («демонів») або службових («приєднаних») процедур які запускаються в фреймі по сигналу з іншого (зовнішнього) фрейму. Ці два механізми є основою логічного виводу в цих системах [54].

Треба зазначити, що підходи Сазерленда та Мінського виходили на початку з наочної зорової ситуації, маніпулюванні образами, чим відрізнялися від формальних систем таких як алгебра Нолла, які ніби то описували одні ж ті самі речі. Але механічний універсум був за змістом значно повнішим ніж описові просторові картини. Хоча в більш складних сучасних системах моделювання ураховується й дія сил, й деформації тощо. Разом з тим, ця ситуація зафіксувалася в когнітивних науках, зокрема когнітивний психології, де формальні системи (алгебри даних, файлів) не містять фізичну аксіоматику (тлумачення сил, енергії), а мають лише описи геометрії систем. Подальший розвиток призвів до ще більшої абстрактності в тлумаченні фрейму в психології та суспільних науках, які вже відходять від принципу геометричної наочності та механічної маніпулятивності. З

іншого боку, пошук та вивчення когнітивних структур в процесах і явищах фізичного світу також нагальне наукове завдання.

Об'єктно-орієнтований підхід (ООП) дозволяє групувати певні фрагменти інформації (в разі програмування – коду програми) разом з часто використовуваними функціями або діями, з ними пов'язаної. Приклади: «ключ–відкриває», «музика–програвач– відтворення» тощо. Такі фрагменти «дієвого знання» об'єднуються в семантичні мережі або ієрархічні системи, вступають в логічні відносини [55].

В принципі це вже є в фреймі, але додається ще ряд властивостей. 1) інкапсуляція – приховування від інших «об'єктів» і операцій своєї внутрішньої структури; 2) інтерфейс об'єкта – набір операцій (методів), які він може здійснювати або які можна здійснювати над ним; 3) успадкування – дозволяє будувати нові об'єкти (фрейми) на основі вже існуючих, додаючи і видозмінюючи їх властивості; 4) поліморфізм – здатність однієї і тієї ж функції до обробки даних різних типів. Об'єкти як когнітивні конструкції мають внутрішніми станами («пам'яттю»), поведінкою (у вигляді набору методів) і «індивідуальністю».

В ООП розрізняють проект і побудовану на його основі реалізацію. У проектному випадку говорять про класи. Це за своєю структурою всі ті ж самі об'єкти, але за змістом мають більш абстрактний, загальний характер стосовно реалізації. Класи зазвичай мають ієрархічну (деревоподібну) будову (хоча можливо і об'єднання в інші семантичні структури). Ця ієрархія будується через успадкування властивостей – будь то повне або часткове від висхідного (базового) класу до похідних класів. Успадкування – це властивість, що дозволяє описати новий клас на основі вже існуючого. Структура висхідного класу (базового, батьківського) переноситься на похідний клас, й утворюється послідовності класів або ж в загальному випадку ієрархія. Ієрархія класів – це структура багаточисельних пов'язаних класів, що визначає, які класи успадковують функції від інших класів. У разі ієрархії для довільного класу визначають верхній клас-«прабатько» і називають його надкласом, а нижній похідний – підкласом. Самий «нижній» клас підкласу не має. Часто вдається протягом усього процесу успадкування розглядати різні аспекти моделі й при цьому зберігати загальну незмінну структуру протягом усього ланцюга класів. Набір функцій у всіх класах дерева може бути однаковим, або частково запозиченими від висхідного, або бути модифікованим. Оскільки «класи» це по структурі ті ж «об'єкти», то для них природно можна визначити й інтерфейс. Так для класу «число» потрібен інтерфейс з арифметичних операцій; такий же буде у похідних класів «ціле число», «комплексне число», «дійсне число». Простіше: успадкування дозволяє одному класу включати всі функції іншого класу (і, як правило, розширювати ці функції), або взяти частину. Успадкування дозволяє модифікувати концепти моделі по вісі від загального до конкретного вже на рівні проекту [56].

Від проектної моделі (клас) переходять до конкретної реалізації. Побудована на основі класу (ів) модель-реалізація об'єднана з даними починає діяти, працювати. Це «екземпляр класу». Часто «екземпляри» в ряді робіт називають також об'єктами, але це невдала синонімія – неясно, коли мова йде про об'єкти як логічної конструкції, а коли про модель стадії реалізації. Уже згаданий інтерфейс вважається більш абстрактним, ніж ієрархія класів – тобто сам проект. Як правило, інтерфейс містить найбільш загальні (абстрактні) функції для звернення до «об'єкту».

Ще одним принципом ООП є поліморфізм – здатність однієї і тієї ж функції до обробки даних різних типів. У загальному випадку маємо два типи поліморфізму. Перший – *ad hoc* поліморфізм (спеціальний), має на увазі виконання різного коду (частин програми) для кожного типу даних. Один вхід багато реалізацій (або один інтерфейс різний код) – ось його головний принцип. Параметричний поліморфізм – як правило, атрибут функціонального програмування. Тут виконується один і той же код для всіх можливих типів аргументів. Це досягається високим ступенем абстрактності даних і функцій. У ООП під поліморфізмом розуміють випадок використання об'єктів з однаковим інтерфейсом без інформації про їх типи та внутрішню структуру. Поліморфізм треба відрізняти від успадкування. При успадкуванні зміни вже закладені в проект, а при поліморфізм зміни відбуваються на рівні реалізації.

Більш строго: поліморфізм припускає використання єдиного імені (ідентифікатора) при зверненні до об'єктів кількох різних класів, за умови, що всі вони є підкласами одного загального надкласу.

Стандарт мови Smalltalk що склався у 1980 р. – був більш радикальний, ніж Simula 67. Тому про нього можна сказати «радикальний ООП». Тут всі елементи програми суть об'єкти, що

обмінюються повідомленнями (теж «об'єктами» за структурою). Всі змінні, оператори, абстракції реалізовані у вигляді об'єктів, тому все середовище і засоби мови можуть бути модифіковані під задачу. Сюди ж відносяться й графічна, й акустична інформація («об'єктний світ»). У Smalltalk вперше з'явилися «класи» [57].

Приблизно у 1980-ті рр. сформувалися алгебраїчні підходи до ООП.

Можна розглянути підхід Є.П. Ємельянова та співавт. [58] до розбудови алгебраїчних моделей для формалізації об'єктно-орієнтованого підходу. Існує декілька варіантів формалізації ООП. Вітчизняний підхід походить до ранішньої роботи Л. Канторовича [59].

В якості основи об'єктно-орієнтованих (алгебраїчних) моделей для обробки файлів використані поняття універсальної алгебри і універсальної алгебраїчної системи, відомі визначення яких наведено нижче.

Визначення 1. Нехай A – непорожня множина. Частково визначена функція $y = F(x_1, \dots, x_n)$, $(y, x_1, \dots, x_n) \in A$, називається n -арною частковою операцією на A . Якщо функція всюди визначена, кажуть просто про n -арну операцію.

Визначення 2. Система $U_A = (A, \Omega)$, що складається з основної множини A та визначеної на неї сукупності часткових операцій $\Omega = \{F_s^{n_s} \mid (s = 1, 2, \dots)\}$, називається частковою універсальною алгеброю із сигнатурою Ω .

Визначення 3. Універсальні алгебри U_A і U_B , в яких задані відповідні сигнатури Ω і Ω' , називаються однотипними, якщо можна встановити таку взаємно однозначну відповідність між сигнатурами Ω і Ω' , при якому будь яка операція $\omega \in \Omega$ та відповідна їй операція $\omega' \in \Omega'$ будуть n -арними з одним й тим самим n .

Розглянемо дві однотипні універсальні алгебри $U_A = (A, \Omega)$ і $U_B = (B, \Omega)$ з основними множинами A і B .

Визначення 4. Відображення $\varphi : A \rightarrow B$ називається гомоморфним відображенням алгебри U_A в алгебру U_B , якщо для будь яких елементів $a_1, \dots, a_n \in A$ та довільної n -арної операції $F \in \Omega$ виконується співвідношення.

$$\varphi(F(a_1, a_2, \dots, a_n)) = F(\varphi(a_1), \dots, \varphi(a_n))$$

де $\varphi(a_i) = b_i$ та $b_i \in B$ ($i = 1, \dots, n$).

Алгебри U_A і U_B називаються гомоморфними.

Якщо між основними множинами A і B встановлюється взаємно-однозначна відповідність, то відображення φ називається ізоморфним відображенням, а алгебри U_A і U_B називаються ізоморфними.

Визначення 5. Якщо $\pi(x_1, \dots, x_n)$, $x_1, \dots, x_n \in I$ – n -місний предикат, $\Pi = (s = 1, 2, \dots)$ – сигнатура предикатів. Система $U_A = \langle A; \Omega; \Pi \rangle$ називається універсальною алгебраїчною системою.

Для моделювання складних предметних областей не обходяться одною єдиною основною множиною, тоді використовуються багатоосновні алгебри.

Визначення 6. Система $U_M = \langle M; \Omega \rangle$ що складається з сімейства основних множин $M = \{A_\alpha\}$ ($\alpha = 1, 2, \dots$) та сигнатури Ω операцій, визначених на родині M так, що кожна n -арна операція з Ω є відображенням декартова добутку n множин з родини M в множину з тієї ж родини $A_{\alpha_1} \times \dots \times A_{\alpha_n} \rightarrow A_{\alpha}$ називається багато основною алгеброю.

Визначення 7. Система $U_M = \langle M; \Omega; \Pi \rangle$, де Π – сигнатура n -місних предикатів $\pi : A_{\alpha_1} \times \dots \times A_{\alpha_n} \rightarrow \{0, 1\}$, називається багатоосновною алгебраїчною системою.

Багатоосновні алгебри є основою уявлення абстрактних типів даних, які в рамках цього підходу отождествлюються з об'єктами. Виділяють і типи даних із структурою $E = \langle S, T; \Omega; \Pi \rangle$. Основу S називають структурою, а основу T – типом. Структура являє собою певну конструкцію, зіставлену з елементів типу. Типові приклади такого роду структур – вектори, матриці, графи. Далі будують алгебри файлів, уводять поняття записів, моделі баз даних тощо.

Є й інші підходи до створення алгебр об'єктів, верифікації ОО-програм [60;61;62;63;64]. Зауважимо що А.Тей пропонував розглядати «об'єкт» як розширення фрейму [65]. До загальної конструкції фрейму додають ряд принципів і відношень. В принципі доведено, що вони утворюють систему в сенсі формальної логіки. За допомогою сукупності об'єктів ООП (в т.ч. об'єднаних в

ієрархії) можна будувати відношення на яких можливий логічний вивід. Теоретичні дослідження і практика програмування показують, що на основі конструкцій ООП, як і за допомогою фреймів, можна будувати моделі понять для систем «штучного інтелекту». В якості прикладу можна навести відому роботу Е.Тиугу, який в межах симулаподібних мов будував моделі понять з різних предметних середовищ, зокрема з геометрії та фізики [66, с.124–196].

Ці дослідження привели до думки, що плідним буде пошук когнітивної моделі, яка б уособлювала елементарну «клітину» психічного. Спочатку там були схеми, згодом фрейми та об'єкти. О.В. Чубаркова та С. С. Венков [67] зазначають, що об'єктно-орієнтована модель в навчанні є заміщуючим аналогом навчальної інформації в якому за елемент прийнята одиниця навчальної інформації – об'єкт, а властивість моделі визначається характером взаємодії її елементів. ООП на думку авторів задовольняє критеріям освітніх моделей подання знань що була розроблена Т.Н.Шихнабієвою [68]. Така модель має урахувувати родо-видові та причино-наслідкові зв'язки поміж поняттями, об'єктами, розділами дисципліни навчальної області; адаптувати такі моделі до когнітивного рівня учня; мати змогу до модернізації; мати потенціал до структурування занять (теорія, практика, лабораторні заняття). Автори формулюють важливе питання, що важливо для педагогічної науки в розрізі застосування ООП (воно заслуговує на увагу й для формулювання теоретико-психологічних моделей): чи може об'єкт (екземпляр класу) бути побудованим на основі дох різних (або декількох) класів (груп класів). Емпірично таке може бути. Жінка вона і вчитель, але і дружина, і матір, і платниця податків. В комп'ютері ми говоримо про диски як про електронний пристрій, але існують і логічні диски, що ми можемо зорганізувати по декілька на одному фізичному диску. Тобто диск тут з одного боку входить в клас електронних пристроїв, а з іншого як елемент операційної системи.

В ООП розрізняють як одиночне успадкування, коли один клас-нащадок має один суперклас, й множинне успадкування, де клас-нащадок може спадкувати властивості від багатьох суперкласів. Множинне успадкування не може бути реалізованим як деревовидна структура з одним єдиним верхнім елементом ієрархії (коренем). При множинному успадкуванні цих коренів буде декілька. О.В.Чубаркова вважає, що треба в випадку множинного наслідування відмовитися від класичного розподілу за рівнями абстракцій – де чим вище за рівнем (ближче до кореня) в ієрархії класів знаходиться «об'єкт-поняття», тим воно більш абстрактне, а чим нижче – тим воно конкретніше, ближче до реалізації. Фактично тут ми переходимо до «павутинних» мереж, коли семантична система виявляється проникнутою багатьма зв'язками наслідування з різних коренів. Така модель є слушною не тільки в освіті, але й в загальній психології. Є варіанти побудови тезаурусів навчальних курсів, переважно з інформатики.

Застосування ООП в фізико-математичній освіті різних рівнів має свої особливості. В початковій школі це налагодження первинного діалогу дитини та комп'ютера, але й розвиваюча практика щодо мислення, розвитку категоріального апарату, опанування власною поведінкою [69]. Для цього використовуються не написання програм, а розвиваючі мультимедійні пакети. Це підтримується й роботою спрямованою на загальний розвиток мислення дитини. Це прозорість і чіткість, рух від часткового до загального, від прикладу до поняття, вміння абстрагуватися від конкретного змісту при розв'язанні задач. Це цінно для вивчення природничих дисциплін [70]. А.В.Горячев вказує [71], що засвоєння принципів ООП тренує та посилює логічне мислення в термінах категорій та ієрархій. В його авторському курсі в молодшій школі приділяється ефект категоризації предметів по назвам, описам, ознакам і діям. Також стимулюються описи назв залежно від ступеня узагальненості, зміна значень залежно виконуваних дій тощо. Але в середній школі, на його погляд, потужні традиції структурного та алгоритмічного програмування, які не дають інтегрувати напрацювання ООП в курс інформатики. Н.Н. Ускова розробляла методику розвитку творчого мислення за допомогою конструювання інформаційних моделей методом об'єктно-орієнтованого аналізу [72]. В її методиці діти розбудовували систему категорій знань, циклічно доповнюючи її на різних етапах вивчення матеріалу. В основі методу вирізнення ключових абстракцій: виділення та іменування предметної галузі; виділення об'єктів; виділення властивостей об'єктів; виділення зв'язків об'єктів; циклічне повернення на перший крок до досягнення більшої повноти моделі; оформлення композиції об'єктної моделі.

Подальший розвиток застосування ООП в школі все ж таки орієнтується на потреби інформатики. Учні опановують мову блок-схем, лінійні, розгалужені й циклічні алгоритми,

допоміжні алгоритми. Спочатку на алгоритмічному рівні, а потім й використовуючи мови програмування [73;74].

Разом з тим, не можна не відмітити досвід використання мови візуального програмування Аліса (Alice, розробка Carnegie Mellon University, CMU), яка застосовується для навчання програмістів-початківців [75]. На позитивний досвід її впровадження вказують З.С. Сейдаметова та Ф.В.Шкарбан [76]. Школярі та студенти мають змогу керувати поведінкою тривимірних об'єктів (із зміною геометрії) і персонажів у віртуальному світі. В системі створюються зв'язані ієрархічні ланцюжки об'єктів і їх анімація за методами прямої та зворотної кінематики, коли рух одного об'єкта викликає узгоджені переміщення решти об'єктів ланцюжка. Аліса підтримує сценарний підхід та дозволяє через створення анімаційної продукції ознайомити учнів з програмуванням на принципах ООП. Продукт поєднує пакет 3D-моделювання (тіла, камери, «контролі») з текстовою консоллю. Є схожий продукт Scratch (розробка MIT). Такі роботи дають напрям на об'єктне моделювання людської активності, формалізацію послідовності дій в навколишньому середовищі, що певною мірою може втілювати екологічні підходи в інженерній психології та ергономії.

Принципи ООП містяться і деяких ергономічних та анімаційно-дизайнерських програмах. Загалом багато сучасних програм, особливо графічних, мають інтерфейси побудовані на принципах ООП [77]. А.Г.Молодих працює над ООП моделюванням технологічних процесів й описує плідну діяльність міжнародної асоціації «Modelica Association» та їхнього дітища мови Modelica [78]. Modelica – це об'єктно-орієнтована мова для моделювання складних фізичних систем. Її стандарт визнаний таким лідером побудови засобів CAD як «Dassault Systemes», який ще з середини 2006 р. заявив про стратегічні плани підтримки мови Modelica в своєму продукті «CAD CATIA». Великими шанувальниками даної мови є машинобудівні компанії, такі як BMW, Scania, Ford. Переваги Modelica: існують багато бібліотек компонент з різних галузей техніки (механіка, електрика, хімія тощо), є безкоштовні графічні редактори, які підтримують блоковий спосіб опису моделей, взаємодія з сторонніми програмами CAD; середовище розробки є розширюваним.

У вищій школі, ґрунтуючись на більш широкому освітньому базисі, програмування вивчається як цілісна технологія. О.Ф. Баранюк слушно зазначає, що курси з програмування зазвичай організовані навколо лексичних конструкцій певної мови програмування, в результаті студенти зосереджуються на вивченні мови програмування, але по їх закінченню не можуть написати складну «реальну» програму. Вихід він бачить в організації навчання з використанням шаблонів, заснованих на проблемних ситуаціях, а не на програмних конструкціях [79].

З іншого боку в ВНЗ потрібне розширення контексту застосування ООП, зокрема в курсах комп'ютерної математики, для інтеграції математики, фізики та інформатики. Тут містком є пакети алгоритмів з обчислень для мов програмування з використанням технології ООП. В.А.Семенов і співавт. запропонували загальну модель об'єктно-орієнтованої системи для моделювання в фізиці [80]. Вони виділили класи: System, Component, Element, Connection, Link, Subsystem, Analysis, Model. Тут Component – клас описує компоненти системи. Connection, Link – описують зв'язки між частинами системи, System. – відповідає за всю систему в комплексі (топология системи). Element – клас описує конкретні моделі в рамках системи. Analysis – клас дає доступ до бібліотек для моделювання. Похідні класи StaticAnalysis, DynamicAnalysis, FrequencyAnalysis. Model – забезпечує збереження моделей фізичних систем. Похідні класи: Static Model, DynamicModel, FrequencyModel. Паралельно будується і інша ієрархія класів, яка містить математичні конструкції. Математичні класи: vector, function, matrix тощо. Проблемні класи LinearSystem, NonlinearSystem, ... Алгоритмічні класи LinearSystemAlgorithm, NonlinearSystemAlgorithm – базові набори алгоритмів.

Р.Ж. Сатибалдієва [81] на основі його роботи вирізняє фундаментальну об'єктну тріаду «математичні об'єкти» – «алгоритм» – «чисельна проблема».

Математичний об'єкт являє собою самостійну одиницю, яка виражає певну математичну категорію, разом з тим він є й об'єктом обчислень. Часто саме рівняння різних видів виступають як «математичні об'єкти». Залежно від типу рівнянь, створюються класи.

Відомо, що для моделювання методами ООП необхідно провести аналіз предметної області, вибрати об'єкти, визначити класи, ідентифікувати їх атрибути і методи. Це рівняння руху і нерозривності та їх методи розв'язання. З досвіду математичної фізики вона наводить таку класифікацію: рівняння математичної фізики, рівняння теплопровідності, рівняння руху, рівняння коливань тощо. Для розв'язання даного класу задач існують певні алгоритми. Як правило, вони

пов'язані поєднанням методів побудови різницевих аналогів завдань і методів їх розв'язання. Тут теж можна провести класифікацію алгоритмів.

Обчислювальний алгоритм є методом обчислювальної математики із додачею допоміжної інформації, що визначає умови їх алгоритмічного використання. Для розв'язання даного завдання використовується метод прогонки, який буде представляти черговий клас. Він виступає в ролі агентів, які співпрацюють з іншими класами. Класи обчислювальних алгоритмів безпосередньо реалізують чисельні методи з урахуванням вимог користувача до точності та обчислювальних ресурсів.

Підхід Р. Я. Сатибалдієвої дозволяє побачити ознаки об'єктного підходу, як у моделі, що описується рівнянням (або їх системою), так і в аналітичних та чисельних методах його розв'язування. Це певною мірою перегукується з двома основними концепціями програмування: імперативною (базується на концепції алгоритму) та функціональною (у фокусі обчислення функції та формальний вивід). У цьому сенсі, можна припустити, що сам формальний вивід іноді може бути зрозумілим і як перетворення абстрактних класів, як реалізація відносин між ними. В цьому напрямку в Україні працює й С.О.Семеріков. Такі підходи активізують вочевидь міжпредметні зв'язки «математичний аналіз – диференціальні рівняння – чисельні методи – програмування», але вони мають й самостійне значення, тому що привертають увагу до об'єктних принципів в неперервних моделях і виправлення «перекосу», принаймні у масових підручниках, де домінували дискретні підходи в галузі моделювання, керування та автоматного програмування.

В людиноорієнтованих системах ще й постає важливе питання про спорідненість об'єктів різної модальності. Таке визначення йде від психології та фізіології й позначає типологію аналізаторів: зорового, слухового, тактильного, смакового, відчуття запаху тощо. Приклади таких систем – комп'ютерне навчання, медіа, тренажери, теоретичні моделі в галузі психології (інженерної психології та психофізики, зокрема). Зорові та слухові стимули мають найбільше значення для мультимедійних систем. В термінах мов програмування це означає, що такі стимули описуються як тип даних в тих же термінах і конструкціях, що й логічні, числові, строкові тощо. Саме в цьому практичному розрізі міркували автори мови Smalltalk та концепції «об'єктного світу».

Щодо їх класифікації слід виходити з наступного: системи, що описуються мовами алгебр фізичного універсуму (типу ноллівських), дані мультимедіа (графіка, звуки), абстрактні дані (й відповідні алгебри). А їх спорідненість не вичерпується семантикою та синтаксисом мов програмування. Так в акустиці широко відомий метод електромеханічних аналогій. В основі цього методу лежить подібність між рівняннями, що описують коливальні явища різної фізичної природи – електричні та механічні. Елементи заданої механічної системи розглядаються як аналоги елементів деякої еквівалентної електричної схеми. Розв'язки еквівалентної схеми проводиться за відомими законами аналізу електричних ланцюгів. Цей метод дозволяє підійти до розрахунку складних електроакустичних перетворювачів, якими є гучномовці та мікрофони, з точки зору радіотехніки [82, с.16]. Коливальну швидкість V можна поставити у відповідність струму I , звуковий тиск – напрузі U і добуток ρC – омичному опорі R ; ρC називається в акустиці акустичним опором середовища. Звичайно, ця аналогія формальна, оскільки природа механічних і електричних явищ різна.

Є аналогії між гідравлікою і електрикою. Метод електрогідравлічних аналогій – аналіз гідравлічних схем, гідромашин і гідрообладнання, заснований на систематичному перенесення теорії електричних схем в гідродинаміку. При цьому від рівняння, що зв'язують електричні параметри, переходять до відповідних співвідношень з акустики, на основі яких можна складати гідродинамічні ланцюги й аналізувати їх тими ж методами, що і електричні. Наприклад, зворотний клапан, що можна знайти в багатьох насосних системах – це аналог діода. Метод аналогій – це метод представлення явищ фізичного світу, зазвичай званих «вихідною системою», за допомогою іншої, більш зрозумілої, яку часто називають «аналізованою системою». Метод заснований на схожості диференціальних рівнянь вихідної та аналізованої систем. Був запропонований Гаррі Ольсоном, американським акустиком. В роботі Г.Ольсона були наведені аналогії між елементами механічних (лінійних і обертових), акустичних і електричних систем. Було запропоновано аналізувати акустичні та механічні системи шляхом перетворення їх до електричних аналогів. Ольсоном була запропонована таблиця аналогій де відсутні одиниці вимірювань, а присутні тільки розмірності [83].

В основі методу аналогій – рівняння динаміки, яке у Г.Ольсона виглядає так:

$$a_0 y + a_1 (dy/dt) + a_2 (d^2y/dt^2) = x \quad (2)$$

де a_0, a_1 и a_2 – внутрішні параметри досліджуваної системи; y – відхилення координати стану системи від її значення при стані рівноваги; x – відхилення зовнішнього впливу на систему від його значення при рівноважному стані системи.

При використанні принципу малих відхилень параметри a_0, a_1 та a_2 вважаються величинами постійними, що лінеаризує рівняння (2). Ці параметри мають загальноприйняті назви та позначення: a_0 називають жорсткістю, й позначається буквою D , a_1 називають опором, й позначають R , a_2 називають інертністю, позначаючи літерою I . В електродинаміці параметр a_0 записують у вигляді $1/C$, де C – ємність системи.

Метод аналогій широко використовується у фізиці як чисто творчий, так і для розв'язання задач, і для створення ефективних ілюстрацій в курсах фізики (як дидактичний прийом) [84]. Так вкажемо на статтю В. Шевчука, що провів аналіз основних законів електро- та магнітостатики шляхом розбудови відповідних алгебр, які вивчаються в курсі електродинаміки і в рамках методу аналогій було встановлена співвідносність операторів та параметрів, що використовуються при описі електро- та магнітостатичних полів [85]. В. Кузєєв зазначає, що у фізиці існує значна кількість прикладів успішного використання методу аналогій. Автор класичної теорії електромагнетизму Дж. Максвелл зіставив її з гідродинамікою нестискуваних рідин і підкреслив значення такого підходу в науці: "Для складання фізичних уявлень слід освоїтися з існуванням фізичних аналогій. Під фізичною аналогією я розумію ту часткову подібність між законами двох якихось областей науки, завдяки якому одна з них є ілюстрацією для іншої". (цит. за [86, с.14]). Максвеллом була ж і розкрита спорідненість коливань в механічних системах та електричних схемах – вони описуються одними й тими ж самими рівняннями. Тому кажуть про електромеханічні аналогії (існує рівняння Лагранжа-Максвела). Їх застосовують при описі електромеханічних систем – які мають в своєму складі елементи електричних ланцюгів та ще й рухаються.

Оптика вивчає електромагнітні хвилі оптичного діапазону частот – це рентгенівське, ультрафіолетове, видиме, інфрачервоне світло. Видіння предметів відбувається завдяки відбиттю світла від предметів. Для людини важливим є видимий діапазон (0,38–0,76 мкм) – на менші довжини хвиль вдень приходить замала енергія, а на більших довжинах зору заважають шуми [87].

В випадку лінійних та однорідних середовищ фундаментальні рівняння Максвелла можуть бути замінені більш простими хвильовими рівняннями. В свою чергу з них слідує закони геометричної оптики. Остання важлива для багатьох галузей – це оптична та фототехніка, але й технічні засоби навчання, мультимедійні пристрої, психологія та психофізика (зорове сприйняття, ілюзії тощо). В оптиці розглядають зміни електричного і магнітного полів незалежно один від одного, і тоді векторний характер поля не є суттєвим, а електромагнітне поле можна розглядати й описувати як скалярне. Формально подібним чином можна описувати й звукове поле.

Рівняння Максвелла для вакууму за відсутності струмів ($\mathbf{j}=0$) та зарядів ($\rho=0$) мають вигляд [за 88]

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \partial \mathbf{D} / \partial t \quad (3);$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0 \quad (4);$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t \quad (5);$$

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = 0 \quad (6)$$

$$\text{з умов } \mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E}, \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} \quad (7)$$

де ε_0 – електрична та μ_0 магнітна сталі.

Вивід хвильового рівняння з рівнянь Максвелла [88, 18–19]. Застосовуючи операцію rot до обох частин (3), з урахуванням (7) отримаємо

$$(1/\mu_0) \operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{B} = (-\varepsilon_0) \partial / \partial t (\operatorname{rot} \mathbf{E}), \quad (8)$$

Згадуючи що $\operatorname{rot} \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{B} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \mathbf{B} - \nabla^2 \mathbf{B}$$

$$\nabla^2 \mathbf{B} - \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2} = 0 \quad (9)$$

Застосовуючи операцію rot до обох частин (30) з урахуванням (3), маємо

$$\nabla E - \varepsilon_0 \mu \frac{\partial E}{\partial t^2} = 0 \quad (10)$$

Більш докладний вивід [89,с.9–11]. Властивості електромагнітних хвиль[90,с.19–25].

З рівнянь Максвела випливає, що всі скалярні складові вектора $\mathbf{E}$ є рівноправними й підкоряються одному й тому ж скалярному рівнянню. Тому якщо треба розглянути зміни тільки одної складової то ми можемо розглядати векторне поле як скалярне – тобто перейти до більш простої «скалярної» теорії. Але складові вектори $\mathbf{E}$ не є незалежними функціями ($\nabla E = 0$). Ось чому хвильове рівняння є наслідком рівнянь Максвела, але зворотно від них перейти до рівнянь Максвела не можна. Якщо рівняння Максвела та хвильове рівняння розглянути як математичні «об'єкти», то ми бачимо, що між ними встановилося відношення спадкування з напрямком від першого до другого.

Хвильове рівняння в загальному сенсі це збурення поля в будь який точці простору в певний момент часу $V(x,y,z)$ є

$$\nabla^2 V = \varepsilon \mu \frac{\partial^2 V}{\partial t^2}$$

В курсах фізики показують, що швидкість поширення хвилі для діелектриків пов'язана з електричною та магнітною сталою середовища як

$$\varepsilon \mu = \frac{1}{v^2}$$

$$\nabla^2 V = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} \quad (11)$$

Зміст цього рівняння полягає в тому, що хвиля з'являється тоді, коли в якогось збурення похідна другого порядку по просторовим координатам пропорційна другій похідній по часу.

Звук поширюється у вигляді змінного збурення пружного середовища, тобто у вигляді звукових хвиль. Простір, в якому відбувається розповсюдження цих хвиль, називають звуковим полем. При вивченні довільних в т.ч. і хвильових рухів суцільних середовищ вихідною системою рівнянь є рівняння Ейлера (v – коливальна швидкість, p – тиск, ρ – і щільність); (за Руденко й Солуян [91, с.10–12] , докладніше див. в Красильникова[92,с.22–32]):

$$\rho \left[\frac{\partial}{\partial t} + (\nabla \cdot) \right] = -\nabla p \quad (12)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} \rho = 0 \quad (13)$$

$$p = \gamma(\rho - \rho_0) \quad (14)$$

справедливі для ідеального середовища. Система складається з рівняння руху (12) в формі Ейлера, рівняння (с2.54) неперервності та рівняння стану (14), яке записують у вигляді

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma \quad (15)$$

де $\gamma = c_p/c_v$ емпірична константа для газів

$$\gamma = 1 + \frac{\partial \ln p}{\partial \ln \rho} \quad \text{для конденсованих середовищ.}$$

В простому одновимірному випадку рівняння Ейлера записують у вигляді:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (16)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v) = 0 \quad (17)$$

$$p = p_0 \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma \quad (18)$$

p_0 и ρ_0 – тиск та щільність у відсутності звуку

Рівняння Ейлера з спрощеннями (не беремо до уваги малі величини v ($\partial v/\partial x$) и $\rho(\partial\rho/\partial x)$) отримує вигляд:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (19)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (20)$$

З рівняння стану ідеального газу

$$P\rho^{-\gamma} = \text{const} \quad (21)$$

Й ураховуючи

$$P = P_0 + p \quad (22)$$

$$d(P\rho^{-\gamma}) = -\gamma P\rho^{-\gamma-1} d\rho + \rho^{-\gamma} dP = 0 \Rightarrow$$

$$\frac{\gamma}{\rho} d\rho = \frac{1}{P} dP \Rightarrow$$

$$\frac{dp}{d\rho} = \frac{\gamma}{\rho} = c^2 \quad (23)$$

При малих p , $dp/d\rho = c^2_0$

c_0 – швидкість звуку, $c \sim c_0$ й $p = \rho c^2_0$

Диференціюючи рівняння Ейлера в спрощеному одновимірному випадку й ураховуючи

$$p = \rho c^2_0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -c^2_0 \frac{\partial \rho}{\partial x}$$

$$-\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (24)$$

Додаємо ці два рівняння отримаємо хвильове рівняння для змін щільності

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} - c^2_0 \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} = 0 \quad (25)$$

Якщо розглянути зазначені системи рівнянь як математичні об'єкти, то можна побачити, що різні класи задач (оптика та акустика) приводять нас до одного типу рівняння (11). Це приклад множинного спадкування. В обох випадках можливий перехід від хвиль до концепції променя : геометрична оптика та геометрична акустика. Формальний розгляд можна знайти в [93, с.14, 51–52] , [94, с.118–119] та [95, с. 54–56] .

Спорідненість механізмів опису коливань різної природи – факт відомий. Це й електричні коливання в схемах комп'ютера, оптичний пристрій виводу, динамік. В цьому сенсі розгляд складових мультимедійної комп'ютерної системи (хоча б в 1970-ті рр.) призводить до однакових математичних описів. Такі факти не рідкісні та їх підсумовує А.М. Федотов: «Застосовуючи методи математичного моделювання для розв'язання різних практичних завдань, нерідко виявляється, що різні по своїй фізичній природі процеси нерідко описуються однаковими математичними рівняннями. Так, наприклад, завдання з області гідродинаміки, пов'язані з обтіканням тіл потоком рідини, розв'язуються аналогічно термодинамічним завданням, що описує процес поширення тепла в різних матеріалах, а також процесам поширення струму в електролітах. Ключовим словом тут є "аналогічно"» [96].

Псевдофізичні аналогії ми зустрічаємо і в психологів початку-середини ХХ століття. Е. Фромм пише [97, Гл.1], що «в концепції Мак-Дугалла існувала певна механогідравлічна модель дії інстинктів, по типу шлюзу, в якому ворота стримують енергію води, а потім за певних умов вона проривається і утворює "водоспад". Пізніше він для образності порівнював будь який інстинкт з "газовим балоном", з якого "постійно вивільняється отруйна речовина". З. Фрейд у своїй теорії лібідо також слідує гідравлічній схемі. Лібідо наростає – напруженість посилюється – невдоволення поширюється; статевий акт дає розрядку, знімає напругу до тих пір, поки воно знову не почне посилюватися і наростати. Подібні ідеї ми бачимо і у Лоренца; він, наприклад, порівнює реактивну

енергію зі "стисненим газом, який довго зберігається в спеціальному резервуарі", або з рідиною, яка укладена в посудину, що має вентиль в днищі, тощо. Р. А. Хінде вважає, що, незважаючи на дрібні відмінності, всі ці теоретичні моделі мають одну загальну ідею – ідею субстанції, яка має здатність стимулювати поведінку. «Ця субстанція укладена в якийсь посуд, а потім вона випускається, впливає на суб'єкт, заряджає його енергією, від якої той приходить в дію» [98].

Іншою класичною психологічною моделлю що апелює до «псевдофізичних» принципів є теорія поля К. Левіна. Ю.Н.Рижов зауважує [99], що ключовим поняттям теорії К. Левіна стало фундаментальне фізичне поняття про динамічне поле, кожен елемент якого знаходиться у взаємозв'язку з іншими елементами і характеризується певною напруженістю. Причому поле, що перебуває в стаціонарному стані, характеризується балансом напруженостей складових його елементів, і порушення цього балансу призводить в дію механізми відновлення балансу. Досліджуючи процеси мотивації, Левін і його послідовники відкрили так звану польову поведінку людини. Бувають два типи польової поведінки – цілеспрямоване та випадкове, яке залежить від ситуації. В останньому випадку предмети притягують (ми рухаємо предмети, читаємо вивіски та ін.). Як бачимо в психолого-педагогічних теоріях теж є місце методу аналогій.

Сьогоднішні моделі фізичних аналогій далеко вийшли за межі підходів середини ХХ століття. В них є й прориви і відомі складнощі.

Так петербурзький професор П.А.Жилін (багато в чому послідовник раціональної механіки, був співредактором книги Трусдела в СРСР) взяв за мету створити електродинаміку методами механіки. В якості висхідного об'єкта у Жиліна розглядається не матеріальна точка, а тіло-точка, тобто частка з обертовими ступенями свободи, якій властива інерція на повороти. Взаємодія подібних частинок характеризується поняттям "вплив", яке включає в себе два вектора – вектор сили і вектор моменту, причому вектор моменту в загальному випадку не зводиться до поняття моменту сили, а є незалежною величиною. У загальному випадку частинки з внутрішньою структурою можуть служити основою для моделювання середовищ, що володіють різними фізичними властивостями, які описуються диференціальними рівняннями в частинних похідних. Це суцільні середовища, що мають електричні, магнітні та теплові властивості, які можуть випромінювати також в навколишній простір і акустичні хвилі. Це досягається розглядом тіл складених з складних частинок, що володіють внутрішньою структурою і внутрішніми ступенями свободи. Одні моделі вважають частки схильними до деформації, а інші описують їх як тверді тіла-частинки. Останні були використані П.А.Жиліним для створення своєї механічної моделі електромагнітного поля. У нього тіла-частинки обертаються, мають порядок з масою і інерцією (двоспінові частинки). У суцільному середовищі, що складається з таких точок виникає пружне середовище, що здатне до переносу поперечних (аналогічні електромагнітним) хвиль. Дві матеріальні точки, які мають маси і тензори інерції, взаємодіють за законом Кулона і законами руху заряду в магнітному полі. Основні труднощі механічної моделі електродинаміки наступні – якщо розглядати отримані рівняння Максвелла як рівняння механіки, то електромагнітне поле розпадається на хвильову і електростатичну частини, причому остання відповідає миттєвій швидкості поширення взаємодії. Якщо в механіці можна миттєво прикласти силу, то в електродинаміці миттєво підвести заряд неможливо. Побудувати теорію електромагнітного поля, спираючись тільки на механіку вченому, швидше за все не вдалося, хоча його учні говорять про його правоту – в його формулюваннях з'явився ефір (відкинутий сучасною фізикою), модифіковані рівняння Максвелла, сигнал який розповсюджується з надсвітловою швидкістю (впливає з розв'язку рівняння). Він прийшов до висновку, що рівняння Максвелла ідентичні рівнянням коливань нестисканого пружного середовища. Про те, як уявляв собі поле сам Максвелл ми писали вище – і це була фізична аналогія. Електродинаміка Жиліна (умовна назва) зуміла опертися на цю механічну аналогію і побудувати деяку наближену модель реальності [100;101; 102]. Зауважимо, що судити про недоліки та переваги робіт П.А.Жиліна справа професійних фізиків та механіків, а автор статті згадує ці роботи лише в контексті тематики «фізичних аналогій» і не наважується висловлювати якісь експертні оцінки щодо творчості вченого.

Приклади глибоких фізичних аналогій дає матеріалознавство. Ще в 1980-і рр. було помічено, що при розв'язанні задач міцності матеріалів існує ціла ієрархія змін – від мікроскопічних до макроскопічних, але і мезоскопічних, тобто проміжних, масштабних рівнів, на яких розвиваються свої закономірності пластичної течії. Дослідження в області структурно неоднорідних середовищ показали що в процесах деформації і руйнування особливе місце займають тонкі поверхневі шари матеріалу. Далі вони розповсюджуються вглиб матеріалу, і поступово втягують весь обсяг

деформованого твердого тіла в пластичну течію. Більш того, пластична деформація поширюється в твердому тілі як багаторівневий хвильовий процес. Цей процес схожий на хвильовий процес поширення крові, феноменологічно картина така ж, як і поширення пластичної течії в твердому тілі. Ці ефекти й вивчає мезомеханіка.

Мезомеханіка розглядає навантажене тверде тіло як багаторівневу систему, що самоорганізується, в якій пластична деформація самоузгоджено розвивається як послідовна еволюція втрати зсувної стійкості на мікро-, мезо-, макромасштабних рівнях. Носіями пластичної течії на мезорівні є тривимірні структурні елементи (мезооб'єми), які переміщуються за схемою «зрушення + поворот». Це призводить до фрагментації матеріалу. Руйнування є завершальною стадією фрагментації, коли вона переходить з мезоуровня на макромасштабний рівень (глобальна втрата зсувної стійкості всього навантаженого матеріалу). Механізми деформації, їх носії та відповідні стадії кривої «напруги деформації» на різних масштабних рівнях є масштабно інваріантними.

«Будуть потрібні багато десятиліть, щоб зібрати і осмислити складні закони руху в живій і неживій природі. Однак аналіз хвильових процесів у фізиці, механіці, хімії, геодинаміці показав, що існує широкий клас явищ, де масоперенос визначається одними і тими ж рівняннями. Ці рівняння аналогічні рівнянням Максвелла в електродинаміці. Подібність формул дозволяє описувати динаміку пластичної деформації на основі базових законів електродинаміки», – пише засновник цього напрямку В. Панін [103]. При дослідженні мезомеханіки виділяються два підходи – на базі механіки суцільного середовища, але з урахуванням внутрішньої структури матеріалу. Відомі підходи С. Псах'є, що застосовує метод «клітинних автоматів» де окремі клітинні автомати можуть не тільки взаємодіяти, а й переміщатися відносно один одного. А. Ревуженко відображає внутрішню структуру матеріалу в розривах функцій, які використовуються при написанні рівнянь, а В. Фомін широко використовує молекулярну динаміку. Розвивається і хвильова теорія фізичної мезомеханіки. У роботах С. Йошиди (США) була розглянута пластична деформація з точки зору базових уявлень електродинаміки [104–106]. Ця аналогія дозволяє абсолютно по-іншому побачити процеси, які розвиваються в навантаженому твердому тілі. Область застосування мезомеханіки – матеріалознавство, завдання міцності та зносостійкості матеріалів. Цей напрям складався наприкінці 80-х рр. XX століття та викликав тоді певний скептицизм, але сьогодні флагманський журнал «Physical Mesomechanics» випускає видавництво Elsevier.

Розглянуті дослідження з тематики матеріалознавства дещо перегукуються з концепціями ООП, бо при описі структур тіла ураховується внутрішня структура (а тут шлях до інкапсуляції властивостей) та ієрархічна рівнева організація.

Висновки

ООП – когнітивна модель що склалася на перетині логіки, психології, фізики та техніки. Вона виступає і як метод дидактики в галузі природничо-математичних дисциплін, і як розвиваюча методика. Більш за все підхід застосовується в інформатиці та теорії мов програмування, системному аналізі. Історичний аналіз вказує, суттєвий вплив на цей підхід поруч с формальною логікою, здійснила практика графічного моделювання, теорія зорового сприйняття, психолого-педагогічні концепції, механіка. ООП є теоретично добре розвинутою концепцією, причому і в математичному сенсі. Важливим є й поняття математичного об'єкту, яке інтегрує конструкти теоретичної математики, алгоритми програмування та особливі їх чисельної реалізації, що дає все більше прикладень у фізиці й техніці. Розвивається ця концепція і в бік гуманітарних наук. В роботі прослідковані основні моменти застосування ООП в навчально-виховному процесі від школи до ВНЗ. Для студентів особливий інтерес представляє історія виникнення цієї когнітивної концепції, зв'язок з іншими науками, культурними практиками. Саме такі підходи є повчальними як приклад нових методів викладання математичних дисциплін в сучасному освітньому контексті. Вони активізують учня та студента, поширюють його кругозір, дають змогу ставити нові амбітні цілі.

Важливі напрацювання дотичні до ООП і для когнітивної та інженерної психології, для питань теорії навчальних та людиноцентричних інформаційно-комунікативних систем з мультимедійною подачею інформації. Пошук «клітини» психічного чи одиниці «навчальної інформації» дає поштовх до включення об'єктних моделей в арсенал когнітивної психології.

Спорідненість об'єктів різної модальності базується на фактах фізичної аналогії, коли теорії і факти з різних галузей фізики – механіки, оптики, акустики тощо, призводять до однакових

(ізоморфних) рівнянь, алгоритмів, розв'язок. Вірніше сказати так, що спільність обробки об'єктів різних мультимедійних типів базується на множинному спадкуванні від класів побудованих на основі середовищ-носіїв інформації до формально подібних конструктів.

ООП підхід який заслуговує на подальше застосування у психолого-педагогічних галузях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ с примерами приложений на C++ / Г.Буч. – М. : Бином, СПб : Невский диалект. – 1998. – 560 с.
2. Копнов В.А. Объектно-ориентированный подход в менеджменте качества / В.А. Копнов, Е.В. Валеева – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – 115 с.
3. Садулаева Б.С. Об объектно-ориентированной парадигме программирования в обучении будущих бакалавров информатики. [Электронный ресурс] / Б.С. Садулаева, У.С. Мунаев. – Режим доступа : <http://www.mce.su/archive/doc216340/rus.pdf>
4. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения / Г.Буч; совместное издание «Диалектика» Киев и АО «ИВК» Москва. – М.–К.: Диалектика, 1992. – 519 с.
5. Глушков В.М. Алгебра. Языки. Программирование/ В.М. Глушков, Г.Е. Цейтлин, Е.Л. Ющенко. – К.: Наукова думка, 1974 [1989].–331с.
6. Лаврищева Е.М. Методы программирования. Теория, инженерия, практика / Е.М. Лаврищева. – К.: Наукова думка, 2006.– 451с.
7. Лаврищева Е.М. Современные методы программирования: возможности и инструменты / Е.М. Лаврищева // Проблемы програмування. 2006. – № 2–3. – Спеціальний випуск.– с.60–74.
8. Перевозчикова О.Л. Школа теории программирования Е.Л.Ющенко / О.Л. Перевозчикова // Наука та наукознавство. – 2007. – №4. – с.114–146.
- 9.Семеріков С. О. Фундаменталізація навчання інформатичних дисциплін у вищій школі: монографія / Семеріков С. О. ; науковий редактор академік АПН України, д. пед. н., проф. М. І. Жалдак. – Кривий Ріг : Мінерал ; К. : НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2009. – 340 с.
10. Жалдак М.І. 20 років становлення і розвитку методичної системи навчання інформатики в школі та педагогічному університеті [Електронний ресурс] / М.І. Жалдак, Н.В. Морзе, Ю.С. Рамський.– Режим доступу : http://www.ii.npu.edu.ua/files/Zbirnik_KOSN/11/1.pdf
- 11.Сейдаметова З. С. Методическая система уровневой подготовки будущих инженеров-программистов по специальности «Информатика» : дис. ... доктора пед. наук : 13.00.02 / З.С. Сейдаметова ; НПУ им. М. П. Драгоманова. – К., 2007. – 559 с.
12. Машбиц Е.И. Психолого-педагогические проблемы компьютеризации обучения: (Педагогическая наука – реформе школы) / Е.И. Машбиц. – М.: Педагогика, 1988. – 192 с.
13. Основы новых інформаційних технологій навчання. Посібник для вчителів / Ю.І. Машбиць, М.І. Жалдак, О.О. Гокунь, О.Ю. Комісарова, Н.В. Морзе, М.Л. Смольсон. – К.: «Віпол», 1997. – 262 с.
14. Основы компьютерной грамотности / Под редакцией А.А. Стогния, Е.И. Машбица, Е.К.Ющенко; авт.кол.: Е.И Машбиц., Л.П. Бабенко, Л.В. Верник. и др. – К.: Вища школа, 1988. – 215с.
- 15.Машбиц Е. И. Диалог в обучающей системе / Е. И. Машбиц, В. В. Андриевская, Е. Ю. Комиссарова. –К.: Вища школа, 1989. – 184с.
16. Застосування телекомунікаційних засобів у навчальному процесі: психолого-педагогічні аспекти : навчально-методичний посібник за ред. М.Л. Смольсон ; АПН України, Ін-т психології ім. Г.С. Костюка.– К.: Педагогічна думка, 2008. –256 с.
17. Сучасні інформаційні засоби навчання: навч. посіб. [Гороль П.К., Гуревич Р.С., Коношевський Л.Л., Шестопалюк О.В.]. – К.: Освіта України, 2007. – 536 с.
- 18.Чепелева Н.В. Розуміння та інтерпретація особистого досвіду у контексті психологічної герменевтики / Н.В. Чепелева // Наукові записки [Національного університету Острозька академія]. Сер.: Психологія і педагогіка. – 2009.– 12.– с.8–12.
19. Розуміння та інтерпретація життєвого досвіду як чинник розвитку особистості : монографія / за ред. Н.В. Чепелевої. – Кіровоград : Імекс-ЛТД, 2013. – 276 с.
20. Аржанов И.Н. Методика обучения объектно-ориентированному проектированию студентов педагогических вузов / Аржанов И.Н.: Авт. дисс... канд. пед. наук, спец. 13.00.02 – теория и методика обучения информатике. – СПб, 2000 – 18 с.
21. Макарова Н.В. Объектно-ориентированная концепция преподавания информатики / Н.В.Макарова // Компьютерные инструменты в образовании. – 1999.– №3–4.– С.13–23.
22. Степанов А.Г. Объектно-ориентированный подход к отбору содержания обучения информатике / А.Г.Степанов. – СПб : Политехнка, 2005. – 287 с.
23. Василякін В. В. Інформаційна система моніторингу знань студентів на основі об'єктно-орієнтованої моделі предметної області / Василякін В. В. дис. ... канд. біол. наук: 14.03.11 – Медична та біологічна інформатика і кібернетика. – К., 2008. – 184 с.
24. Баранова Е.В. Теория и практика объектно-ориентированного проектирования содержания обучения средствами информационных технологий / Баранова Е.В. : Авт. дисс...докт. пед. наук, спец. 13.00.02 – теория и методика обучения информатике / Е.В. Баранова.– СПб, 2000 – 36 с.
25. Kay A. Personal Dynamic Media / A.Kay // IEEE Computer. – 1977. – v. 3. – № 10. – p. 31.
26. Пушкарёв П.Ю. Объектно-ориентированный подход к системе интерпретации электромагнитных зондирований в среде Microsoft Windows. / П.Ю.Пушкарёв // Вестник НСО (по материалам науч.конф. геологического факультета МГУ «День научного творчества студентов – 96»). – М.: МГУ, 1996.– с. 41–42.

27. Колеватов А.П. Объектно-ориентированный подход к разработке навигационных систем / А.П. Колеватов // Гирископия и навигация. [Мат. XXIII конф. памяти Н.Н.Острякова]. – 2002.– №4 (39).– С.59–60.
28. Филиппов А.Ю. Алгоритмы формализации и автоматизации решения задач на основе среды компьютерного моделирования задач / А.Ю.Филиппов . Автореф. канд. тех. наук. Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в образовании). –Томск – 2007.– 23 с.
29. Семенов В. А. Об объектно-ориентированном подходе к разработке численного математического обеспечения / В. А. Семенов // Вопросы кибернетики. Приложения системного программирования /Под ред. В.П. Иванникова. – М.: Науч. совет по комплексной проблеме "Кибернетика" РАН, 1995. –С. 140–163
30. Семенов В. А. Объектно-ориентированная инструментальная среда для разработки систем численного моделирования / В. А. Семенов, С. В. Морозов, О. А. Таралапан, Е. Ю. Ширяева //Вопросы кибернетики. Приложения системного программирования Под ред. В. П. Иванникова. – М.: Науч. совет по комплексной проблеме "Кибернетика" РАН, 1997. – Вып. 3.– С. 205–226.
31. Корчевская Е.А. Разработка моделей и алгоритмов вычислительной математики на основе объектно-ориентированной парадигмы программирования / Е.А. Корчевская , Л.В. Маркова // Мат. и компьютерное моделирование : мат. Ш межд. науч. конф. (Омск, 12.11. 2015). – Омск , 2015. –с.127–129
32. Вишневский Ю.А. Применение распределенных вычислений для решения задач математической физики [Электронный ресурс] / Ю.А.Вишневский, В.И. Пожув. – Режим доступа: <http://web.znu.edu.ua/herald/issues/archive/articles/2614.pdf>
33. Пакет Diffpack [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.thermophysics.ru/pdf_doc/diffpack_ru.pdf
34. Леонтьев А.В. Трек 2D – объектно-ориентированная программа моделирования технологии ионной имплантации / А.В. Леонтьев, Ю.А. Леонтьев, В.А. Новиков [Электронный ресурс] // 8-я международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», 23–25.09.2009 г., Минск, Беларусь – Минск, 2009.– с. 332–334. – Режим доступа: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/006/41006890.pdf
35. Mayer R.E. Multimedia Learning Second Edition / R.E. Mayer. – Cambridge University Press, Cambridge 2009. – 304 p.– <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>
36. Дистанційне навчання: психологічні засади : монографія [Електронний ресурс] / [М.Л. Смульсон, Ю.І. Машбиць, М.І. Жалдак та ін.]; за ред. М.Л. Смульсон. – Кіровоград : Імекс-ЛТД, 2012. – 240 с. – Режим доступу : <http://enpuir.npu.edu.ua/bitstream/123456789/3148/1/distan%20education.PDF>
37. Krzemiński Andrzej Droga do e-learningu / Andrzej Krzemiński; pracę magisterską wykonaną i obronioną w Wyższej Szkole Humanistyczno-Ekonomicznej we Włocławku (w 2011 r.). – Włocławek, 2013. – 94 s.
38. Назар М.М. Характерні психологічні особливості дистанційного навчання з використанням мережі Інтернет / М.М.Назар[Електронний ресурс] // Технології розвитку інтелекту. – 2011 – №2. – Режим доступу: http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/tri/2011_2/st04.pdf
39. Черч А. Введение в математическую логику /А. Черч. – Том 1.– М.: Издательство иностранной литературы, 1960. – 484 с.
40. Барендрегт Х. Лямбда-исчисление. Его синтаксис и семантика / Х. Барендрегт – М.: Мир, 1985.– 606 с.
41. Трусделл К. Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред / К.Трусделл. – М., Мир, 1975. – 592 с.
42. Голодняк М. Дискуссия о законах Ньютона [Электронный ресурс] / М. Голодняк, С. Кокарев. – Режим доступа http://znaemfiz.ru/files/138426/neuton_disc.pdf
43. Sutherland I. E. "Sketchpad-A Man-Machine Graphical Communication System" / I. E. Sutherland // Proceedings of the Spring Joint Computer Conference, Detroit, Michigan, May 1963 (Washington, D.C.: Spartan, 1964).
44. Sutherland I. E. The Ultimate Display / I. E. Sutherland // Proceedings of IFIP Congress, 1965.– pp. 506–508.
45. Sutherland I. E. A head-mounted three dimensional display / Ivan E. Sutherland // Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conference. December 9–11, 1968. Part I. – Washington : Thompson Books, 1968. – P. 757–764.
46. Модло Є.О. Використання технології доповненої реальності у мобільно орієнтованому середовищі навчання вчз / Є.О. Модло , Ю.В. Єчкало, С.О. Семеріков, В.В. Ткачук. // Наукові записки. – Випуск 11. – Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. Частина 1. – Кропивницький: РВВ КДПУ ім. В.Винниченка, 2017 – 200 с. – с.93–100.
47. Pooley, Rob An Introduction to Programming in Simula / Rob Pooley.– Fawley Oxfordshire (UK): Alfred Waller Ltd 1987. –344 p.
48. Kay A. The Reactive Engine / A. Kay . – Salt Lake City, UT: The University of Utah, Department of Computer Science. – 1969. – 12 p.
49. Пейперт С. Переворот в сознании: Дети, компьютеры и плодотворные идеи /С.Пейперт. – М.: Педагогика, 1989. – 224 с.
50. Kay A. Personal Dynamic Media / Alan Kay, Adele Goldberg // IEEE Computer. – 1977. – v. 3. – № 10. – p. 31–41.
51. An Interview with Computing Pioneer Alan Kay [By David Greelish] [electronic resource] // Time.– April 02, 2013.– Access: <http://techland.time.com/2013/04/02/an-interview-with-computing-pioneer-alan-kay/>
52. Kay Alan C. A Personal Computer for Children of All Ages [electronic resource] / Alan C. Kay. – Xerox Palo Alto Research Center, 1972. – 11 p. – Access: <https://mprove.de/diplom/gui/Kay72a.pdf>
53. Boden Margaret A History of Cognitive Science / Margaret Boden. – Oxford–New York: Oxford University Press, 2006. – 1680 p. – pp. 747, 808–809, 1176
54. Минский М. Фреймы для представления знаний / М. Минский. – М.: Энергия, 1979. – 152 с.
55. Coadd P. Object-oriented patterns. Communication of the ACM. September 1992 / P. Coadd –V. 35. – No.9. – p. 152–159.
56. Вайсфельд М. Объектно-ориентированное мышление /М. Вайсфельд. – СПб: Питер, 2014.– 304 с.
57. Кирютенко Ю.А. Объектно-ориентированное программирование. Язык Smalltalk / Ю. А. Кирютенко, В. А. Савельев. – М.: Вузовская книга, 2007. – 328 с
58. Емельченков Е. П. Алгебраический подход к оптимизации разработки и эксплуатации систем управления базами данных / Е. П. Емельченков, Н. А. Левин, В. И. Мунерман // Системы и средства информ., 2009 – дополнительный выпуск. – с. 114–137.

59. Канторович Л.В. Перспективы развития и использования электронных счетных машин / Л.В. Канторович // Математика, ее содержание, методы и значение. – Т. 1. – М.: АН СССР, 1956. – С. 382–390.
60. Цаленко М.Ш. Моделирование семантики в базах данных / М.Ш. Цаленко. – М.: Наука, 1988. – 288 с.
61. Breu R. Algebraic Specification Techniques in Object Oriented Programming Environments / R. Breu. –Berlin-Heidelberg : Springer-Verlag, 1991. – 236 p.
62. Суворов В.В. Абстрактно-алгебраический подход к построению вычислительных сред для решения задач в объектных формулировках / В.В. Суворов // Вычислительные методы и программирование. –2010. – Т. 11.– с. 50–61.
63. Weiß B. Deductive Verification of Object-Oriented Software : Dynamic Frames, Dynamic Logic and Predicate Abstraction / Benjamin Weiß. – Karlsruhe : KIT Scientific Publishing, 2011. – 294 p.
64. Летичевский А.А. Объекты в системе алгебраического программирования / А.А. Летичевский, В.Г.Маринченко // Кибернетика и системный анализ. – 1997. – № 2. – С. 160–180.
65. Тей А. Логический подход к искусственному интеллекту / А.Тей, П. Грибомон, Ж.Луи. – М. : Мир, 1990.–432 с.
66. Тыгу Э.Х. Концептуальное программирование / Э.Х. Тыгу. – М.: Наука, 1984.– 256 с. – с.124–196.
67. Чубаркова Е.В. Структуризация теоретического материала электронных учебных курсов с использованием объектно-ориентированной модели / Е.В. Чубаркова, С.С. Венков // Вестник Челябинского государственного педагогического университета.– 2012. – № 9. – с. 172– 183.
68. Шихнабиева, Т.Ш. Методические основы представления и контроля знаний в области информатики с использованием адаптивных семантических моделей: дисс ... д-ра пед. наук / Шихнабиева Т.Ш. – Москва, 2009. – 355 с.
69. Горячев А. В. Сборник программ «Образовательная система «Школа 2100» / А.В. Горячев; под ред. А. А. Леонтьева. – М.: Баласс, Изд. Ром РАО, 2004.– 528 с.
70. Калинина Т.Б. Пропедевтика парадигмы объектно-ориентированного программирования в базовом курсе информатики посредством программируемого исполнителя [Электронный ресурс] / Калинина Т. Б., Миндоров Н. И. // Конгресс конференций «Информационные технологии в образовании» (ИТО).– 2003. – Режим доступа : <http://ito.edu.ru/2003/I/2/I-2-2370.html>
71. Горячев А. В. О некоторых проблемах освоения объектно-ориентированного программирования в школьном курсе информатики / А. В. Горячев // Международная научно-практическая интернет-конференция «Актуальные проблемы методики обучения информатике в современной школе» (Москва, МПГУ, 16 – 17 февраля 2016 г.). – Режим доступа : <http://news.scienceland.ru/2016/02/06/715/>
72. Ускова Н.Н. Особенности применения метода построения объектно-ориентированных моделей знаний в начальной школе / Н.Н. Ускова //XIV Международная конференция «Применение новых технологий в образовании» Троицк, 26.06 – 27.06 2003. Секция 1. – Троицк, 2003.– с.6–8.
73. Рамський Ю. С. Методика навчання основ об'єктно-орієнтованого програмування / Ю. С. Рамський, І. М. Лукаш // Комп'ютер у школі та сім'ї. – 2002. – № 1. – С. 3 – 7 ; № 2. – С. 3 – 8 ; № 3. – С. 7 – 13 ; № 4. – С. 17 – 22 ; № 5. – С. 10 – 17 ; № 6. – С. 16 – 21.
74. Ящик О. Б. Методика навчання алгоритмізації та програмування старшокласників на рівні поглибленого вивчення інформатики / Ящик О. Б. : 13.00.02 – теорія та методика навчання (інформатика). Дис.... кандидата педагогічних наук. – Київ, 2016. – 352 с.
75. Goff Tom Alice The 3D Object-Oriented Programming Environment [electronic resource] / Tom Goff. – Access: <http://robotics.cs.brown.edu/test/slides/Alice.pdf>
76. Сейдаметова З.С. Сценарний підхід в навчанні інформатики: об'єктність, наочність, креативність / З.С. Сейдаметова, Ф.В. Шкарбан // Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 2 : Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання. – 2010. – №. 9. – С. 72–80.
77. Миронов Д.Ф. Компьютерная графика в дизайне / Миронов Д.Ф.– Спб : БХВ-Петербург, 2008.– 560 с.
78. Молодых А.Г. Разработка и исследование средств топологического анализа технологических схем как объектов моделирования [Электронный ресурс] / А.Г. Молодых. – Режим доступа : <http://masters.donntu.org/2011/fknt/molodih/diss/index.htm>
79. Баранюк О.Ф. Систематика шаблонів у контексті об'єктних технологій / О.Ф. Баранюк // Наукові записки. – Випуск 11. – Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. Частина 1. – Кропивницький: РВВ КДПУ ім. В.Винниченка, 2017 – 200 с. с. 3–10.
80. Семенов В. А., Морозов С. В., Таралапан О. А., Ширяева Е. Ю. 1997. Вказ.твір.
81. Сатыбалдиева Р.Ж. Объектно-ориентированный подход при разработке приложений прикладной вычислительной системы [Электронный ресурс] / Р.Ж. Сатыбалдиева [Электронный ресурс] // ҚазҰТУ Хабаршысы – Вестник КазНУТУ – Vestnik KazNRTU. 2008. – Режим доступа: <http://vestnik.kazntu.kz/files/newspapers/7/70/682.htm>
82. Петров П. Н. Акустика. / П.Петров.– СПб : СПбГУАП, 2003. – 80 с.:
- 83.: Ольсон Г. Динамические аналогии / Г.Ольсон. – М.: ИЛ., 1947. – 224 с.
84. Вовк Л.І. Значення використання аналогій у навчанні для розвитку мислення студентів / Л.І.Вовк // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т.Г.Шевченка. Сер. Педагогічні науки. 2000. – № 3. – С.21–22.
85. Шевчук О.Г. Використання неповного ізоморфізму алгебр електро- та магнітостатики при викладанні курсу електродинаміки /О.Г.Шевчук // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т.Г.Шевченка. Сер. Педагогічні науки. – 2016. – Вип.138. – С.191–195.
86. Кузеев И.Р. Физическая природа разрушений / И.Р. Кузеев, Д.Р Куликов. – Уфа: УГНТУ, 1997.– 168 с.
87. Матвеев А.Н. Оптика / А.Н. Матвеев – М.: Высш. шк., 1985.–351 с. – с.14–16.
88. Матвеев А.Н. 1985. Вказ. Твір.
89. Родионов С.А. Основы оптики / С.А.Родионов – Спб : СПб ГИТМО (ТУ), 2000. – 167 с.
90. Матвеев А.Н. 1985. Вказ. Твір.С.19–25.
91. Руденко О.В. Теоретические основы нелинейной акустики / О.В. Руденко, С.И.Солуян.– М.: Наука, 1975. – 238 с.
92. Красильников В.А. Введение в акустику / В.А. Красильников. – М.: МГУ, 1992.– 152 с. – с.22–32.

93. Родионов С.А. 2000. Указ.соч.
94. Матвеев А.Н. 1985. Вказ. Твір.С.19–25.
95. Красильников. Указ.соч. 54–56
96. Федотов А.М. Компьютер аналоговый [Электронный ресурс] / А.М. Федотов. – Режим доступа: http://www.nsc.ru/win/elbib/data/show_page.shtml?77+87+135
97. Фромм Э. Анатомия человеческой деструктивности [Электронный ресурс] / Э. Фромм. – М.: Аст, Хранитель, Мидгард, 2007. – 624 с. – Режим доступа : <http://www.golubinski.ru/socrates/fromm/fromm5/03.html>
98. Пилипец Л.В. Элементарная физика и психологические аналогии / Л.В. Пилипец, И.В. Ковязина // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–2. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21553>
99. Рыжов Ю.Н. История психологии [Электронный ресурс] / Ю.Н. Рыжов – Режим доступа : http://xn----ftbnabbavx.dbikmfk2dzk.xn--p1ai/index/geshtaltpsikhologija_i_teorija_polja/0-45
100. [Электронный ресурс] http://www.teormeh.net/Home_page_Elena_Ivanova/Cosserat%20continua%20RUS.htm ; http://mp.ipme.ru/Zhilin/Zhilin_New/Biograph.htm, <http://www.teormeh.net/Zhilin.htm>
101. Жилин П.А. Рациональная механика сплошных сред / П.А. Жилин.— СПб: СПбГПУ, 2012. – 584 с.
102. Жилин П.А. Построение модели электромагнитного поля с позиций рациональной механики / П.А. Жилин // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. – 2013.– № 1.– т.5. – с.77–97.
Див.також http://www.ipme.ru/ipme/labs/dms/private/ivanova/Home_page_Elena_Ivanova/Zhilin%20books%20RUS.htm, http://www.teormeh.net/Zhilin_New/electrodynamics.htm,
103. Панин В. Физическая мезомеханика – ключ ко многим проблемам будущего [Электронный ресурс] / В. Панин // Наука Сибири.– N 34–35 (2420–2421).– 12 сентября 2003 г – Режим доступа <http://www.sbras.ru/HBC/article.phtml?nid=260&id=9> , <http://www.sbras.ru/HBC/hbc.phtml?9+260+1>
104. Структурные уровни пластической деформации и разрушения / Панин В.Е., Гриняев Ю.В., Данилов В.И. и др. Панин В. (ред.). – Новосибирск : Наука, 1990.– 225 с.
105. Йошида С. Интерпретация мезомеханических характеристик пластической деформации на основе аналогии с теорией электромагнитного поля Максвелла / С. Йошида // Физ. мезомех. – 2001. – Т. 4. – № 3. – С. 29–34
106. Yoshida S. Observation of plastic deformation wave in a tensile-loaded aluminum-alloy / S. Yoshida // Phys. Lett. A. – 1999. – V. 251. – P. 54–60.

Степура Ігор Володимирович, ст. лаборант лабораторії когнітивної психології Інституту психології імені Г.С.Костюка НАПН України, Київ, Україна, email : istep@ukr.net

Stepura Igor V., senior laboratory assistant, Cognitive Psychology Lab at the G.S. Kostyuk Institute of Psychology of NAES of Ukraine, Kyiv, Ukraine, email : istep@ukr.net