

УДК 37.016:53]+[37.015.31:159.955-028.43

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-2>

**Микола ГОЛОВІН**

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та кібербезпеки, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID ID:** 0000-0003-4516-4677

**Ніна ГОЛОВІНА**

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

**ORCID ID:** 0000-0002-1152-1536

**Бібліографічний опис статті:** Головін, М., Головіна, Н. (2022). Механізми критичного мислення та навчання фізики і програмування. *Фізика та освітні технології*, 1, 15–26, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-2>

## МЕХАНІЗМИ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ ТА НАВЧАННЯ ФІЗИКИ І ПРОГРАМУВАННЯ

Метою цієї роботи є виявлення та формалізація механізму критичного мислення, що проявляється в процесі навчання фізики та програмування. Цей механізм подається у термінах формальної логіки, де окремі кроки представляються у вигляді аналізу, синтезу, індукції, дедукції, абстрагування, узагальнення, конкретизації. Ця задача є актуальною як із психологічної, так і з методико-педагогічної точок зору, адже далеко не кожний пласт навчальних дисциплін, особливо в гуманітарній сфері, добре проявляє протокол критичного мислення. Програмування через високу формалізацію матеріалу є тією діяльністю, де механізм критичного мислення проявляється контрастно.

Важливим моментом є також і вибір задачі на основі розв'язку якої ілюструється механізм критичного мислення. Це задача моделювання руху тіла в полі тяжіння з класичної механіки, яка має добру візуалізацію, є достатньо лаконічною та має просте математичне підґрунтя.

Методологія дослідження рефлексії критичного мислення реалізовувалась у процесі моделювання цього процесу в його еволюційному розвитку. Новизна роботи полягає в тому, що критичне мислення тут представлено у вигляді характерних циклічностей формально-логічних і матеріалізованих дій. Інше новаторство полягає у представленні результатів роботи механізму критичного мислення. Ці результати фіксувались у вигляді віртуальних ментальних когнітивних структур, що мають еволюцію в пізнавальному процесі. Такий підхід напряму зв'язаний з процесами та методами навчання і тому є цікавим в сенсі теорії навчання.

Основним висновком роботи є те, що запропонований підхід дозволив розглянути критичне мислення лаконічно в контексті трьох циклічно діючих ментальних схем, що базуються на конкретизації, узагальненні та симульованому аналізі і синтезі. Останнє робить ці схеми хорошим базисом для розвитку різноманітних методик навчання особливо в природничій царині.

**Ключові слова:** методика навчання, формальна логіка, пізнавальні схеми, рефлексія, моделювання.

**Mykola HOLOVIN**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Computer Science and Cybersecurity, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Ukraine, 43025

**ORCID ID:** 0000-0003-4516-4677

**Nina HOLOVINA**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Ukraine, 43025

**ORCID ID:** 0000-0002-1152-1536

**To cite this article:** Holovin, M., Holovina, N. (2022). Mekhanizmy krytychnoho myslennia ta navchannia fizyky i prohramuvannia [Mechanisms of critical thinking and learning physics and programming]. *Physics and Educational Technology*, 1, 15–26, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-2>

## MECHANISMS OF CRITICAL THINKING AND LEARNING PHYSICS AND PROGRAMMING

*The purpose of this work is to identify and formalize the mechanism of critical thinking that manifests itself in the process of teaching physics and programming. This mechanism is presented in terms of formal logic, where individual steps are presented in the form of analysis, synthesis, induction, deduction, abstraction, generalization, and specification. This task is relevant from a psychological, methodological, and pedagogical point of view, because not every layer of educational discipline, especially in the humanitarian field, demonstrates the protocol of critical thinking well. Due to the high formalization of the material, programming is the activity where the mechanism of critical thinking manifests itself very distinctively.*

*An important point is also the choice of a problem, whose solution illustrates the mechanism of critical thinking. This is a problem of modeling the movement of a body in a gravitational field from classical mechanics, which has a good visualization, is quite concise, and has a simple mathematical basis.*

*The research methodology of critical thinking reflection was implemented in the process of modeling this process in its evolutionary development. The novelty of the work is that critical thinking is presented here in the form of common cycles of formal logical and materialized actions. Another innovation is the presentation of the results of the critical thinking mechanism. These results were recorded in the form of virtual mental cognitive structures that have an evolution in the cognitive process. This approach is directly related to learning processes and methods and is therefore interesting in the sense of learning theory.*

*The main conclusion of the work is that the proposed approach made it possible to consider critical thinking succinctly in the context of three cyclical mental schemes based on concretization, generalization, and simultaneous analysis and synthesis. The latter makes these schemes a good basis for the development of various teaching methods, especially in the field of natural sciences.*

**Key words:** teaching method, formal logic, cognitive schemes, reflection, modeling.

**Актуальність проблеми.** Сучасний світ, науково-технічна революція, глобалізація інформаційного простору, суттєве ускладнення соціальних конструкцій та відповідно відносин між людьми, маніпуляції масовою свідомістю вимагають від кожної людини складніших реакцій на виклики оточуючого світу, ніж зовсім у недавньому минулому. Новітній рівень техніки та технологій, що проникають в усі сфери життя, в тому числі у професійне, вимагають відповідної освіти, знань, умінь і навичок, як із експлуатації, так і зі створення та ремонту відповідних складних штучних пристроїв. Останнє передбачає високий рівень знань, зокрема, з фізики, математики, інформатики, хімії, біології, медицини та ін. Складні уявлення про природу, про технічні пристрої вимагають від людини складного причинно-наслідкового, абстрактно-логічного, критичного мислення, як у професійній сфері, так і у повсякденному житті. Сам термін «критичне мислення» започаткований філософом Дж. Дьюї, який найчастіше використовував його як «рефлексивне мислення», маючи на увазі активний, послідовний і обережний розгляд будь-якого переконання або передбачува-

ної форми знання у світлі підстав, які його підтримують (Дьюї, 2021).

Тенденція укрупнення соціальних конструкцій в сучасних умовах приводить до їх ускладнення. Глобалізація сучасного світу в інформаційному, технічному, соціальному, політичному проявах вимагає ускладнення мислення у відповідних модальностях. Тому успішна життєдіяльність в усіх її проявах у глобалізованому складному світі вимагає розуміння багатьох абстракцій, критичного, причинно-наслідкового мислення. На ускладнення життєдіяльності з укрупненням соціальних конструкцій звернули увагу ще на початку двадцятого століття. Так, у Сполучених штатах Америки, де бурхливо розвивалась промисловість і куди прибували людські потоки з країн із архаїчним укладом життя, було помічено, що ті, хто не міг пристосуватися до нових умов життя, не могли впоратися з новими складними проблемами, ставали легкою здобиччю різноманітних шахраїв. Тоді в Америці серйозно поставилися до цього і почали шукати нові підходи до освіти своїх громадян.

Критичний тип мислення проявляється при розв'язанні широкого кола сучасних задач від складних наукових, технологічних до соціаль-

них, економічних і навіть побутових. Критичне мислення стосовно складної проблеми має базуватись на широкій, добре структурованій інформаційній науковій базі. Предтечею критичного мислення було пралогічне мислення. Таке мислення було розповсюджене скрізь у первісному світі наших предків мисливців, збирачів, риболовів, землеробів, що користувались у своєму побуті елементарними знаряддями і технологіями (Леви-Брюль, 2002). Пралогічне мислення базується на збідненій, клаптиковій структурі знань. У сучасному світі пралогічне мислення характерне для дітей, малоосвічених людей та людей, які внаслідок свого архаїчного укладу життя інтелектуально деградували. Деградація може бути пов'язана з хворобами та віковими процесами.

У пралогічному мисленні явища, які насправді не є зв'язаними, можуть співвідноситись за ознакою «причина – наслідок» у випадках, коли вони збігаються у просторі та часі. Партиципация (причетність) подій, суміжних у часі та просторі, служить у пралогічному мисленні основою пояснення більшості подій, що відбуваються в навколишньому світі. Породженням такого мислення є віра в магію. Зрозуміло, що партиципация породжує короткі ланцюги логічних висновків, контрастне чорно-біле мислення, опору на емоції (Павловська, 2021). Дитяче пралогічне мислення є етапом розвитку мислення, яке надалі може еволюціонувати у критичне або догматичне мислення.

Догматичне мислення, яке сформувалось ще в стародавні часи, має своїх численних носіїв і зараз. Цей тип мислення базується на інформаційній базі, що почерпнута зі стародавніх книг, інколи вражає складними логічними і псевдологічними пасажами, які намагаються звести всі прояви сучасного життя до стислого списку догм сумнівної істинності (Фромм, 2014).

Критичне мислення, на відміну від пралогічного, є причинно-наслідковим, абстрактно-логічним, базується на широкій сучасній, матеріалістичній, добре структурованій базі знань, передбачає в процесі свого функціонування постійно діючі зворотні зв'язки верифікації правильності суджень. Ці верифікації можуть реалізуватись як різноманітними матеріалізованими діями (експерименти), так ментальними, які базуються на строгих наукових теоретичних

викладках, наприклад, у теоретичній фізиці або математиці при доведенні теорем.

Критичне мислення стосовно складної проблеми є багатокроковим. Ланцюг критичних розумових висновків, що мають на меті розв'язати складну проблему, реалізують ментальні дії на різних рівнях її конкретизації. Тобто критичне мислення стосовно складної проблеми завжди абстрактно-логічне з широким діапазоном переходів у напрямку конкретне-загального та загальне-конкретного. Розв'язування проблем у природничих дисциплінах, як правило, спирається на структуру знань ієрархічного типу. І це зрозуміло. Адже пересування ієрархічною деревоподібною конструкцією легко представити у вигляді абстрактно-логічних дій. Існують і інші види структури знань: мережі, послідовності, кластери, простори, тощо (Андерсон, 2002).

Важливою рисою критичного мислення є його *рефлексивність*. Рефлексивність передбачає *усвідомлення та контроль* своїх ментальних дій (Леонтьєв, 2011). Самоконтроль сутності логічних дій захищає від небезпеки хибного логічного кроку на якомусь з етапів логічних роздумів. Прикладом такої псевдологічної дії може бути, зокрема, трансдукція, коли трансдуктивні умовиводи здійснюються на підставі схожості, відмінності або за аналогією.

Існує багато випадків, коли виникають так звані когнітивні пастки, у які люди досить часто попадають при недостатній рефлексії мислення (Кукла, 2008). Цих пасток доволі багато (десятки), вони типізовані, систематизовані. Грубо ці когнітивні пастки можуть бути представлені у вигляді чотирьох категорій: «Коли багато інформації» і виникає проблема надлишку інформації; «Коли не вистачає сенсу» і складно зрозуміти суть проблеми; «Коли швидко реагуємо» і не вистачає часу для рефлексії; «Коли запам'ятовуємо і згадуємо» тобто реалізується викривлення на межі того, що запам'ятовується і забувається. Когнітивні пастки, як правило, легко виявляються рефлексією, тобто під час аналізу автоматичних думок.

Обґрунтованість і контрольованість ментальних дій має надзвичайно велике значення, адже навіть одна помилка в ланцюгу правильних ментальних дій може зруйнувати всю конструкцію, і проблема, що має долатись критичним мисленням, не буде розв'язана, а саме мислення пере-

стане бути критичним. Дослідники, як правило, розглядають властивості, параметри, ознаки критичного мислення (Терно, 2009), однак тема механізму критичного мислення залишається нерозглянутою. Хоча, як зауважено в (Канеман, 2017), зафіксовано систематичні помилки у мисленні нормальних людей та відстежено, що вони закорінені насамперед у самому механізмі мислення і меншою мірою зумовлені руйнівним впливом емоцій на мислення.

**Актуальною проблемою**, що потребує дослідження, є задача виявлення та формалізації механізму критичного мислення. Не всякий пласт сучасних задач добре проявляє протокол критичного мислення. У цій роботі пропонується звернути увагу на те, що механізм критичного мислення можна описати мовою формальної логіки, де окремі кроки представляються у вигляді аналізу, синтезу, індукції, дедукції, абстрагування, узагальнення, конкретизації. Саме такий підхід мав би дати можливість розкрити механізм критичного мислення. Інша сторона – проблематика, на якій візуалізується механізм. Програмування через високу формалізацію матеріалу є тією діяльністю, де протокол критичного мислення проявляється контрастно і є видимим неозброєним оком. Важливою цінною особливістю такого підходу є той факт, що програмування відстороненого об'єкту, зокрема обчислювальної машини, є переносом на цей об'єкт технологій програмування себе самого. Зрозуміло, що цікавий і зворотний шлях, щоб через розуміння планування діяльності комп'ютера, тобто його програмування, навчитися вдосконалювати та оптимізувати власну рефлексію.

Важливим моментом є також і вибір задачі, стосовно якої відбувається критичне мислення. Ця задача має мати добру візуалізацію, бути лаконічною, мати достатню складність. Цим вимогам задовольняють модельні процеси класичної фізики. Вони мають хорошу математичну основу. Моделювання цих процесів може дати хороше лаконічне формулювання задачі, відслідковування процесу в реальному часі і масштабі та верифікацію результату. Крім цього, важливим є те, що обмірковування процесів відбувається не тільки через призму програмування, а ще в і контексті сутності самого фізичного процесу. Останнє теж вимагає критичності, але тепер вже в галузі фізики.

**Метою** цієї роботи є виявлення та демонстрація механізму протоколу критичного мислення на прикладі навчального програмування моделі фізичного процесу із застосуванням уявлень когнітивної психології про пізнавальні схеми, формально логічні методи мислення.

#### **Завдання**

1. Розгляд простої навчальної задачі комп'ютерного моделювання фізичного процесу як базисної для аналізу процесів критичного мислення.

2. Виявлення та формалізація механізму протоколу критичного мислення на прикладі програмування моделі.

3. Формування концептуальних підходів стосовно рефлексії критичного мислення.

**Теоретичні основи дослідження.** Застосуємо для опису феномену критичності мислення теорію та термінологію формальної логіки і представимо процес через такі пізнавальні дії, як: аналіз, синтез, дедукція, індукція, абстрагування, узагальнення, конкретизація. Крім цього, застосуємо при обговоренні такі популярні в когнітивній психології віртуальні конструкції, як ментальні пізнавальні схеми та структури.

**Методи дослідження.** У дослідженнях механізму критичного мислення і рефлексивних процесів, що супроводжують цей процес, використаємо метод моделювання. Моделювання механізму критичного мислення будемо здійснювати в термінах строгої формальної логіки на прикладі розв'язування конкретної задачі з програмування. Опис процесу еволюції розв'язку задачі дозволить уникнути необгрунтованих фантазій у моделюванні ментальних процесів. Результат роботи механізму критичного мислення будемо зображати віртуальними ментальними пізнавальними структурами, які представлені у вигляді абстрактних графічних схем. Останні зображать різні етапи еволюції цієї пізнавальної структури. Тобто використаємо метод віртуалізації і будемо зображати ментальні процеси графічно. Крім цього, в роботі реалізується еволюційний підхід до формування ментальних конструкцій. Цей підхід напряду зв'язаний із процесами навчання та методами навчання. Адже відслідковування еволюції формування окремої пізнавальної схеми окремого учня в різних умовах дає можли-

вість обговорювати методи навчання на теоретичному рівні.

**Виклад основного матеріалу дослідження. Розгляд простої навчальної задачі комп'ютерного моделювання фізичного процесу.** Розглянемо особливості прояву феномену критичності мислення в процесі виконання навчального завдання на модернізацію та відлагодження невеликої програми, що містить моделювання простого фізичного процесу. Нехай модернізація, що вимагається в завданні, буде така, що її можна здійснити невеликим фрагментом програми. Цей фрагмент може бути досягнутий за один сеанс зосередження уваги. Нагадаємо, що один сеанс концентрації уваги може охопити не більше  $7 \pm 2$  компоненти мислення (Miller, 1956, р.81–97) (Магічне число Міллера).

**Ілюстраційне завдання** полягає в тому, що в готовому коді програми на мові Python, яка моделює рух падіння тіла в полі тяжіння, необхідно реалізувати відбивання цього тіла від перешкоди. Нижче представлений текст програми, що є результатом виконання завдання.

```
import turtle as tl # під'єднання функцій бібліотеки turtle
tl.shape("circle");tl.ht();tl.up() # фізичне тіло куля; він прозорий; підняти ручку
tl.setpos(-100,-100);tl.down();tl.setpos(100,-100);tl.up(); # малювати лінію землі
Yp=90;Yzm=-90;X=0;t=0;Vy=0;g=10;dt=0.01;
Y=Yp # початкові параметри
tl.setpos(X,Y);tl.st() # фізичне тіло в початковому положенні і воно видиме
# ---- Динаміка модельного експерименту ----
while 1: # цикл з передумовою, що контролює весь модельний експеримент
    t+=dt # Приріст часу t на dt
```

```
# ----- Відбивання від землі -----
if(Y<Yzm): # Якщо тіло досягнуло рівня землі (Y<Yzm) то:
    Vy=-g*t-Vy # Обчислення швидкості після відбиття від поверхні
    Yp=Yzm # Нове значення початкової координати
    t=0 # Обнуління часу в момент відбиття
# -----кінець відбивання-----
Y=Yp-(Vy*t)-(g*(t)**2/2); # Обчислення поточного Y
tl.setpos(X,Y) # Перемістити тіло в точку (X,Y)
```

Зрозуміло, що на початку виконання відсутній фрагмент програми, який відповідальний за відбивання:  $if(Y < Yzm): Vy = -g \cdot t - Vy; Yp = Yzm; t = 0$ . Саме цей фрагмент має бути дописаний та відлагоджений в ході виконання завдання.

Текст програми структурований. Структура реалізована зміщенням праворуч блоків програми відносно рядків, що ними керують. Так формується ієрархічна конструкція, що може мати багато рівнів вкладеності. Адже в кожному блоку у тілі програми може бути вкладено інший блок або кілька.

На рис. 1 представлено умовне графічне зображення ментальної конструкції базової програми, тобто програми на початку розв'язування завдання ліворуч (1) і, відповідно, після його завершення – праворуч (2).

Кожен трикутник на рис. 1 окреслює логічно завершені сукупності кроків розв'язку задачі, що одночасно перебувають в полі уваги учня. Такі логічно завершені сукупності кроків надалі будемо називати конструктами. Позначення в трикутнику уваги (конструкті) розуміються наступним чином. Рядок кружечків



Рис. 1. Початкова (1) і кінцева (2) ментальна конструкція розв'язку задачі

у основі трикутника є деталізацією більш загальної події, що позначається кружечком у вершині трикутника над рядком. Зрозуміло, що переключення поля уваги між конструктами, що знаходяться один над одним, відбуваються через спільний для двох трикутників компонент. Видно, що такий механізм добре візуалізує дедуктивні абстрактно-логічні дії – структурою вниз і відповідно індуктивні дії – структурою вверх.

Повернемось до конкретики, що зображена на рис. 1.1. Так верхній трикутник окреслює початкові кроки, які необхідно реалізувати для здійснення динамічної частини модельного експерименту: під'єднання бібліотеки turtle; опис вигляду тіла як кулі; малювання лінії землі; ввід початкових параметрів експерименту. Під ним є конструкт, що циклічно реалізує динамічну частину експерименту, а саме: обчислення координат тіла, що рухається в полі тяжіння; вивід на екран зображення рухомої кульки.

На рис. 1.2 під конструктом, що реалізує динаміку руху кульки, зображений додатковий конструкт, відповідальний за її відбивання. Тобто на рис. 1.1 зображена початкова фаза в розв'язуванні завдання без цього додаткового конструкту, а на рис. 1.2 – кінцева, де додатковий конструкт вже є. Для простоти, окремими кроками (кружечками), будемо вважати текстові фрагменти коду, розташовані в окремих рядках. Тобто між станом, зображеним на рис. 1.1 та на рис. 1.2, має відбутись феномен креативного мислення, що відбувається в межах ментальної критичності. Останнє, очевидно, відрізняє цю креативність від креативності гуманітарної сфери, де креативність часто не комунікує з критичністю і матеріалістичністю, а відбувається в модальності художніх фантазій.

**Виявлення та формалізація механізму протоколу критичного мислення.** Ментальні та матеріалізовані дії в ході процесу розв'язування завдання на модернізацію програми можна представити такими трьома фазами.

1. **Критичне мислення** для актуалізації коду базової програми, що потребує модернізації за умовою задачі.

2. **Критичне обмірковування** нового програмного блоку в процесі його утворення. Цей блок і є модернізацією програми. Ці дії можна ще назвати **креативними**.

3. **Критичне мислення** в процесі відлагодження коду програми.

**Критичне мислення впродовж актуалізації коду базової програми**, що має модернізуватись в процесі виконання завдання. Тут ключовим є питання: чи виконує ця програма функції, заявлені в умові завдання – рух тіла в полі тяжіння? **Активний експеримент** у ході матеріалізованих дій із випробовуванням програмного коду стартової програми має дати відповідь на питання дієздатності коду стартової програми. Ця відповідь може бути отримана після її запуску. Тому першим кроком у розв'язуванні поставленого вище завдання є запуск програми та її перевірка на дієздатність. Саме **дія** програми та **сприйняття** результатів її роботи дає найбільш узагальнену інформацію (**конкретний досвід**) стосовно функцій програми, як цілісного об'єкту. Дії з перевірки дієздатності програми є проявом критичного мислення на цьому етапі вирішення проблеми.

Далі постає завдання, по-перше, пошуку, куди вносити зміни, а по-друге – які. Необхідна **актуалізація пізнавальної ментальної схеми** програми, що має піддаватись модернізації згідно із завданням. Ментальні дії із формування пізнавальної схеми базової для модифікації програми показані на рис. 2.1-2.2. У сенсі формальної логіки ці дії вкладаються у схему, зображену на рис. 2а. Цілісні уявлення про програму в процесі її перегляду піддаються аналізу (А), тобто розчленуванню на окремі компоненти – програмні блоки, оператори, функції, процедури (рис. 2.1). Ці компоненти є завжди більш конкретизованими сутностями, ніж початкова програмна субстанція, що поточно аналізується. Кількість компонентів, що є результатом однократного аналізу, не може перевищувати число Міллера. Інакше ці компоненти не зможуть бути усвідомлені одночасно (не вмістяться в поле уваги). Деталізація цілого більш конкретними компонентами підтримується дедуктивною (D) логікою (рис. 2а), адже компоненти, що є результатом аналізу, мають зберегти логічну цілісність. При переході від концентрації поля уваги на «верхньому» конструкті рис. 2.1 до концентрації на «нижньому» рис. 2.2 відбувається абстрагування (abs) від більшості компонентів «верхнього» конструкту, а компонент, що залишається в полі уваги, піддається аналізу. Далі цикл дій (рис. 2а) – ана-

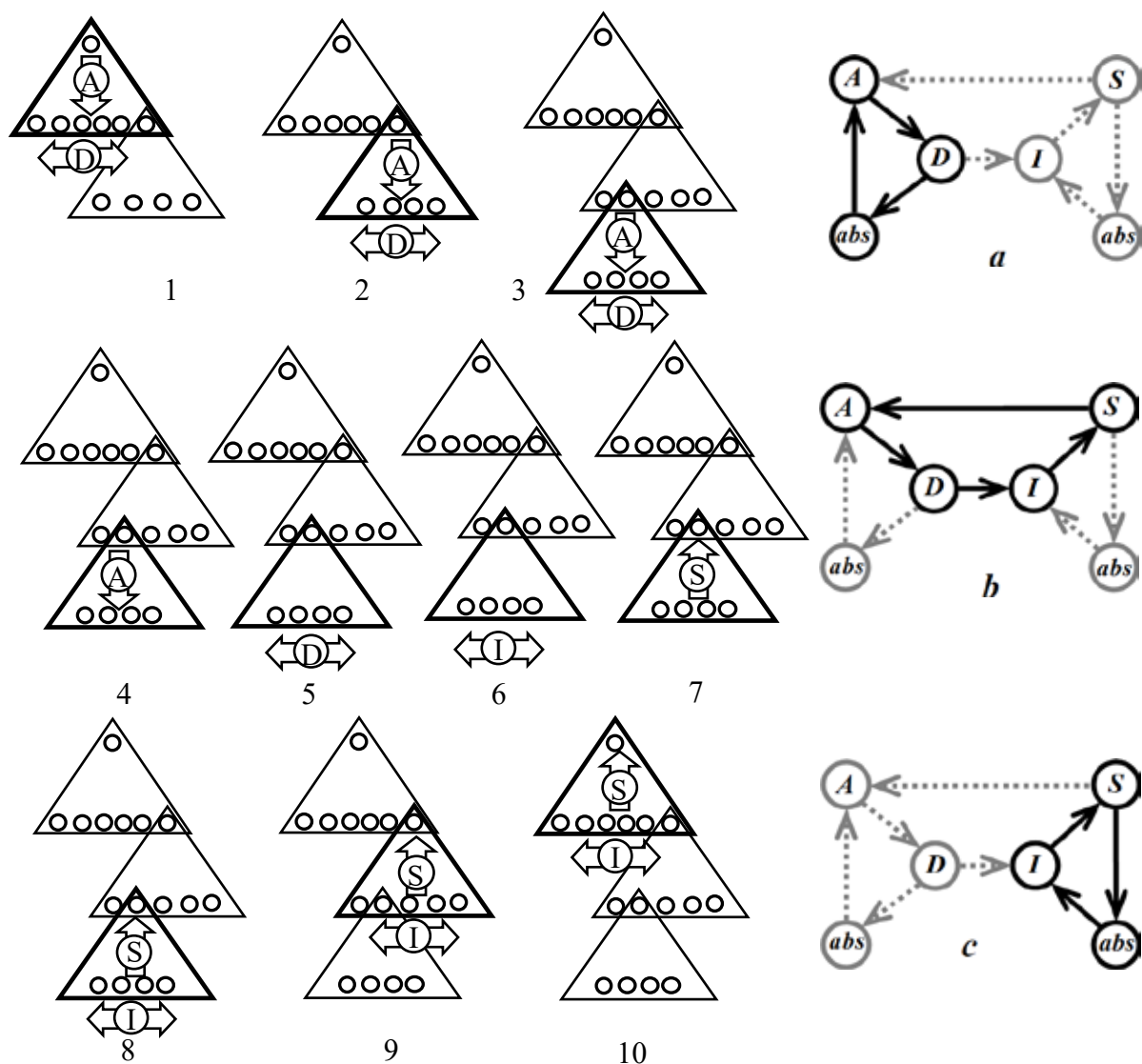


Рис. 2. Еволюція пізнавальної схеми програми в процесі розв’язку задачі

ліз, дедукція, абстрагування – повторюється, але стосовно нижнього конструкту на рис. 2.2. У процесі актуалізації пізнавальної схеми готової частини програми домінують аналітико-дедуктивні дії. Відбувається покрокова низхідна деталізація стосовно вже реалізованого тексту програми. Такий модельний підхід до розгляду пізнавальних схем був розглянутий авторами в ряді робіт раніше. Крайні роботи із цього циклу (Головін, 2018, с. 57–70; Holovina, 2021, с. 18–25).

**Критичне обмірковування нового програмного блоку в процесі його утворення,** тобто **креативних дій із написання програми.** У цій послідовності ментальних дій спочатку вирішується питання, де має відбутись вставка нового програмного блоку. У ментальній площині цей

новий блок відповідає новому ще не розкритому аналітичними і дедуктивними діями конструкту в пізнавальній схемі програми. Місце вставки лаконічно позначається словом «відбиття» в нижньому щойно актуалізованому конструкті рис. 2.2. Далі сама вставка відповідних відбиттю програмних дій (рис. 2.3). Цей процес починається з абстрагування від всіх думок по «нижньому» конструкту. У свідомості залишається тільки компонент «відбиття», який і піддається спочатку аналітичним, а потім і дедуктивним ментальними діям. Свідомість заповнюється новими компонентами, що і є результатом цих аналітико-дедуктивних дій. У нашому випадку відбувається створення (create) таких програмних кроків:

$$\text{if}(Y < Y_{zm}): V_y = -g \cdot t - V_y; Y_p = Y_{zm}; t = 0$$

Саме цей блок модернізує програму і допомагає демонструвати задум цієї статті. Нижче «нижнього» конструкту (рис. 2.3) з'являється ще один конструкт, відповідний щойно представленим програмним крокам. Зрозуміло, що старий «нижній» конструкт тепер переходить у статус «середнього» рис. 2.3. Закриття ментальних дій стосовно щойно створеного програмного конструкту можна вважати завершеними після того, як поле уваги можна буде звільнити від компонентів цього конструкту, згорнути цей конструкт знов словом «відбиття» і перевести увагу, наприклад, назад з «нижнього» на «середній» конструкт. Із ментальної сторони такий перехід структурою вверх відбувається у процесі індуктивно-синтетичних ментальних дій рис. 2с. Останнє з точки зору ментальної структури проявляється у вигляді схеми рис. 2.8. Такі дії можна вважати перевірочними, тобто критичними, у відношенні до ментальних аналітико-дедуктивних дій рис. 2.3. Іншою матеріалізованою критичністю є перевірка дієздатності програми разом з щойно дописаним фрагментом. Якщо програмний код працює так, як хотілось, тобто завдання виконане, то роботи стосовно модифікації програми завершуються.

**Критичне мислення у процесі відлагодження дій у новому програмному блоці.** Якщо ментальна критичність або матеріалізовані дії з перевірки програми показали погану або не правильну реалізацію програмного фрагменту, далі реалізується ментальний цикл рис. 2b стосовно конструкту, що поточно усвідомлюється рис. 2.4 – рис. 2.7. Якщо ж щойно написаний код спрацював неправильно, то існує два шляхи дій. Перший включає **аналіз, дедуцію, індукцію та синтез**. Ці дії верифікують зв'язки між компонентами конструкту, що поточно відлагоджується.

Перший шлях відбувається без зміни кроків у полі уваги і полягає в невеликих трансформаціях коду (рис. 2b) без його суттєвої зміни (рис. 2.4 – 2.7). Зокрема, оператори, функції, процедури в кодї не змінюються. Змінюються, наприклад, їх деякі параметри. Відбувається підбір цих параметрів. Далі знов прояв критичності, перевірка на дієздатність.

Другий шлях більш складний. Він відбувається зі зміною програмного коду в полі уваги. Тобто **повторно** спрацює схема, зображена на рис. 2.3 з аналітично-дедуктивною логікою

рис. 2а. Формується деякий **інший** програмний код, відповідний поточному конструкту. Якщо позначимо **початковий** код буквою А, то подальші логічні дії формують **новий** код Б. Далі відбуваються дії з підбору параметрів, що зображені на рис. 2b та рис. 2.4-2.7. Сенсом їх є підбір параметрів операторів, функцій, процедур. Далі – дії, зображені на рис. 2.8 з індуктивно-синтетичною логікою рис. 2с. Феномен критичності проявляється через матеріалізовані дії з перевірки дієздатності коду програми.

Підсумуємо. Якщо код А не спрацював належним чином, то дії, зображені на рис. 2.3, з аналітично-дедуктивною логікою рис. 2а повторюються. Останнє формує зовсім інший програмний код Б, відповідний поточному конструкту. Далі – повтор ланцюга дій, зображених на рис. 2b та рис. 2.4-4.7, а також дій, зображених на рис. 2с та рис. 2.8. Якщо ж код Б теж виявився неробочим фрагментом програми, то це може спровокувати формування коду С, а потім і коду Д і так далі.

Після вдалого випробовування відбувається абстрагування і переключення уваги на іншу мікрозадачу, відповідну іншому конструкту.

Інколи для того, щоб запрацював програмний фрагмент, відповідний «найнижньому» конструкту, необхідно вносити зміни у програмні фрагменти, відповідні «середньому» і «найвищому» конструкту. Тоді транзит уваги конструктами рис. 2.1-2.3, рис. 2.4-2.7, рис. 2.8-2.10 супроводжується належними змінами в кодї. Відбуваються відповідні критичні логічні дії рис. 2а, 2b, 2с стосовно кожного із конструктів. Треба відмітити, що циклічні дії без переводу уваги, зображені на рис. 2b, з підбором засобів вирішення проблеми можуть відбуватись стосовно конструктів всіх рівнів.

Представлені підходи до механізмів критичного мислення в цілому не конфліктують з методами низхідної покрокової деталізації і технологією модульного програмування (Галіцин, 2009). Ці підходи добре описують взаємодію ментальної і матеріалізованої діяльності людини. Передбачають випробовування після кожного акту критичних ментальних дій стосовно виправлення тексту невеличкого програмного модуля (блоку або фрагменту). Існує безпосередній взаємозв'язок між ментальними логічними діями впродовж критичного



мислення та відповідними матеріалізованими діями з перевірки їх коректності.

**Формування концептуальних підходів стосовно рефлексії критичного мислення.**

**Циклічність процесів критичного мислення.** Порційність процесів критичного мислення, що обумовлена невеликим об'ємом короткочасної пам'яті людей (поля уваги), формує циклічність цих процесів. Обмеженість поля уваги детермінує також і порядок консолідації інформації у вигляді ієрархічних понятійних схем, що складаються з конструктів, в довготривалій пам'яті людини, яка програмує. Відмітимо, що ієрархічні понятійні конструкції включають поняття різного ступеня конкретизації (узагальненості). Очевидно, можна припустити, що протокол ментальних критичних дій стосовно складних об'єктів, що вивчаються природничими дисциплінами, мають подібні риси.

Циклічність актів критичного мислення – важливий аспект у механізмі долання будь-якої проблемної ситуації стосовно складного об'єкта. У процесах критичного мислення стосовно складного об'єкта відбуваються численні матеріалізовані дії з перевірки коректності ментальних дій. Можна, очевидно, стверджувати, як це видно з практичного програмування, що стосовно кожного чергового конструкту пізнавальної схеми складного об'єкта здійснюються критичні дії в процесі інших відповідних циклічних ментальних та матеріалізованих дій. Вирішення проблемних ситуацій, що вимагають застосування природничих знань, завжди реалізується через численні критичні дії. Число таких дій можна оцінити через число конструктів, що входять у склад відповідних пізнавальних схем.

**Механізми критичного мислення.** Критичні дії стосовно складної проблемної ситуації мають свої внутрішні механізми.

**Покрокова низхідна деталізація.** Перша схема критичного мислення включає ментальний цикл із деталізації та конкретизації проблеми. В окремий акт деталізації входить аналіз, дедукція, абстрагування (рис. 2а). Багатократна деталізація складної проблемної ситуації завершується побудовою ієрархії простіших проблем та гіпотез їх можливих розв'язків. Зрозуміло, що деталізація спрощує кожен окрему проблему в ієрархічній ментальній конструкції,

але збільшує їх кількість. Тому всю ієрархічну конструкцію можна порівняти з пірамідою, яка зверху має поодинокі достатньо абстрактну проблемну ситуацію, а в основі знаходяться чисельні конкретні проблемні ситуації, які можна розв'язати відомими конкретними засобами. У програмуванні ці засоби є окремими операторами, операціями, функціями, процедурами. Вся ця багатоповерхова ієрархічна конструкція тримається на конструктах, компоненти яких мають різний ступінь конкретизації. Конструкти в основі піраміди з'єднують окремі конкретні засоби долання проблем в елементарні механізми, що складаються, максимум, з  $7 \pm 2$  компонентів. Конструкти вищого рівня об'єднують конструкти нижнього, і так до самого верху ментальної структури. У програмуванні конструкти в основі піраміди охоплюють логічно завершені програмні фрагменти, що, зокрема, можуть окреслюватись циклами, розгалуженнями, процедурами і функціями користувача. Ця вся ментальна конструкція поступово формується при пересуванні уваги зверху вниз і знизу вверх конструктами структури та зберігається в довготривалій пам'яті людини, яка намагається розв'язати проблему. У процесі ментальних дій людина може усвідомлювати тільки окремий локальний конструкт в пізнавальній структурі і відповідну йому проблемну ситуацію з усіма її компонентами. Тому критичні дії можуть стосуватись тільки окремого локального конструкта в структурі. Перехід від конструкту до конструкту супроводжується абстрагуванням. Ланцюг роздумів не розривається завдяки спільним компонентам в конструктах. Численні прояви актів критичного мислення цією схемою можна бачити при відлагодженні майже готової програми, часто чужої, коли програміст у режимі деталізації рухається структурою програми від функцій програми як цілісного об'єкта до локального програмного блоку, що не достатньо добре працює. При цьому часто приходиться генерувати гіпотези стосовно функцій тих чи інших програмних фрагментів, локалізувати ці фрагменти, як окремі програми та випробувувати їх. Саме такі випробування є проявом критичності, і саме вони перетворюють гіпотези і здогадки в перевірені твердження. Необхідно відмітити, що акт вдалої перевірки передуює абстрагуванню. Після абстрагування – перевід

уваги і зосередження свідомості на конструкті, що розташований нижче в ментальній структурі об'єкта, на якому зосереджене критичне мислення.

**Покрокове висхідне узагальнення.** Друга схема критичного мислення реалізує узагальнення і включає індукцію, синтез, абстрагування (рис. 2b). Узагальнення зводить кілька конкретизованих проблемних ситуацій до одної але більш широкої, узагальненої, більш абстрактної. Ментальні критичні дії тут так само усвідомлюються в об'ємі окремого локального конструкту, на якому поточно зосереджена увага. Зрозуміло, що поле уваги, що локалізується почергово на різних конструктах всюди, має об'єм максимум  $7 \pm 2$  компоненти. Саме в результаті індуктивних дій стосовно компонентів конструкту окремі засоби долання конкретних проблем синтезуються в логічно завершеному конструкті у цілісний механізм. Практична перевірка роботи такого механізму і є актом критичності мислення в цій схемі. Робота із втілення ідей, гіпотез (передбачень) стосовно щойно синтезованого логічно завершеного програмного механізму завершується при коректній його роботі. Далі відбувається акт абстрагування (рис. 4b) і перевід уваги з поточного конструкту, що відповідний щойно перевіреному фрагменту, на конструкт розташований вище.

**Аналітико-синтетичні симультанні дії.** Третя схема критичного мислення (рис. 2c) є схемою, до якої переходить людина у випадках, коли перевірка роботи функціонального вузла складного об'єкта, наприклад, логічно завершеного програмного фрагменту, спрацьовує не так, як заплановано. Тоді в межах відповідного конструкту, без переведу уваги, відбувається підбір компонентів функціонального вузла або параметрів компонентів, без зміни самих компонентів. Зрозуміло, що чисті аналітико-синтетичні дії можуть набувати сенс, коли аналітичні дії супроводжуються дедуктивними, а синтетичні є наслідком індуктивних. Критичність думок тут реалізується перевірками на дієздатність функціонального вузла, або логічно завершеного фрагменту програми. Так перевірка реалізується у двох випадках. У першому випадку, наприклад, при відлагодженні в цілому вже написаної програми, при ментальному пересуванні уваги від загального

до конкретного. У другому випадку – при відлагодженні щойно написаної програми, при ментальному пересуванні уваги від конкретного до загального. У першому випадку людина входить в цикл аналітико-синтетичних симультанних дій стартуючи з аналізу (далі дедукція, індукція), а в другому випадку старт відбувається з індукції, а далі вже синтез, аналіз, дедукція. Аналітичне дослідження готового фрагменту тексту програми і дедуктивне зв'язування відповідних програмних компонентів завершується матеріалізованою перевіркою роботи фрагменту. Якщо фрагмент, відповідний ментальному конструкту, не запрацював належним чином, то далі – невеликі зміни параметрів у контексті індуктивно-синтетичних дій і знов перевірка. І так багатократний підбір параметрів або навіть і заміна окремих компонентів без зміни поля уваги. Завершення цих дій без переведу уваги стосовно конкретного конструкту і перевід уваги на інший конструкт структурою вверх або вниз відбувається після успішного завершення перевірки дієздатності фрагменту.

#### **Висновки й перспективи подальших досліджень**

Розуміння сутності фізичних явищ та процесів потребує критичності, креативності та гнучкості мислення. Тому за об'єкт дослідження вибрано фізичну задачу. Моделювання такого типу задач за допомогою програмування дозволяє реалізувати мету, візуалізувати самі процеси, концентровано продемонструвати етапи мислення та їх еволюцію.

Розкрито особливості критичних ментальних та матеріалізованих дій людини в термінах формальної логіки. Проведено аналіз трансформації пізнавальних схем у процесі критичного мислення.

Сформовано концептуальні підходи стосовно рефлексії критичного мислення. Запропоновано розглядати критичне мислення в контексті трьох схем, що базуються на конкретизації, узагальненні та симультанному аналізу і синтезі. Встановлено нерозривний зв'язок схем критичного мислення між собою і необхідність їх дотримання при ментальній рефлексії.

Розуміння сутності механізмів критичного мислення в ідеалі допоможе в реалізації підготовки фахівців з природничих наук, для яких

в силу роботи зі складно організованими матеріальними (природними і штучними) об'єктами є потрібною та характерною причинно-наслідковість, абстрактно-логічність, критичність мислення. Моделювання процесів і явищ може привнести в це мислення креативність, новаторство та творчість. Такі фахівці будуть рости нову генерацію мислячих людей. У цьому контексті надзвичайно важливим та перспективним бачиться поєднання через моделювання процесів і явищ, зокрема таких навчальних предметів, як математика, програмування та фізика. Перспективною бачиться інтерпретація

роботи моделі механізму критичного мислення на прикладах виконання лабораторних робіт з фізики, математики, хімії, біології. Подальше розширення застосування розглянутого механізму моделі критичного мислення може стосуватись гуманітарних дисциплін, широкого кола різноманітних проблемних життєвих ситуацій, в тому числі побутового плану. Автори роботи вважають, що через розуміння технологічних особливостей планування діяльності комп'ютера, тобто його програмування, можна навчитися вдосконалювати та оптимізувати власну рефлексію.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Дьюи Дж. Психология и педагогика мышления / пер. с англ. Н.М. Никольской. Москва : Юрайт, 2021. 166 с.
2. Леви-Брюль Люсьен. Первобытный менталитет / пер. с фр. Е. Калыцикова. СанктПетербург : Европейский Дом, 2002. 400 с.
3. Павловська О.В. Логіка та дологічне мислення. *Актуальні проблеми філософії та соціології*. Одеса, 2021. Вип. 29. С. 24–27. URL: <https://doi.org/10.32837/apfs.v0i29.955>.
4. Фромм Э. Анатомия человеческой деструктивности / пер. с англ. Э.М. Телятникова. Москва : АСТ, 2014. 810 с.
5. Андерсон Дж. Когнитивная психология. 5-е изд. СанктПетербург : Питер, 2002. 496 с.
6. Леонтьев Д.А., Аверина А.Ж. Феномен рефлексии в контексте проблемы саморегуляции. *Психологические исследования: электрон. науч. журн.* 2011. № 2(16). URL: <https://psystudy.ru/index.php/num/article/view/860>.
7. Кукла А. Ментальные ловушки: Глупости, которые делают разумные люди, чтобы испортить себе жизнь / пер. с англ. 2-е изд. Москва : Альпина Бизнес Букс, 2008. 146 с.
8. Терно С.О. Критичне мислення – сучасний вимір суспільствознавчої освіти. Запоріжжя : Просвіта, 2009. 268 с.
9. Канеман Деніел. Мислення швидко і повільно. Київ : Наш формат, 2017. 480 с.
10. Miller George A. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. *The Psychological Review*. 1956. Vol. 63. Issue 2. P. 81–97.
11. Головін М.Б., Головіна Н.А., Головіна Н.М. Модельний розгляд пізнавальних процесів, супутніх навчальному програмуванню. *Психологічні перспективи*. Луцьк, 2018. Вип. 31. С. 57–70. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppst\\_2018\\_31\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppst_2018_31_7).
12. Holovina Nina, Holovin Mykola. Modeling of physical phenomena as a methodological means of forming a knowledge structure in physics and programming. *ScienceRise: Pedagogical Education*, (43), 18–25, 2021.
13. Галіцин В.К., Сидоренко Ю.Т., Потапенко С.Д. Технологія програмування і створення програмних продуктів : навчальний посібник. Київ : КНЕУ, 2009. 372 с.

#### REFERENCES:

1. Dewey J. (2021). *Psychologiya i pedagogika myshleniya*. [Psychology and pedagogy of thinking] Moskva: Yuright [in Russian].
2. Levy-Bruhl Lucien. (2002). *Pervobytnyi mentalitet* [Primitive mentality]. St. Petersburg: European House. [in Russian].
3. Pavlovska O. V. (2021). Logika ta dologichne myslennya [Logic and pre-logical thinking]. *Actual`ni problemy filosofii i sotsiologii – Actual problems of philosophy and sociology*, 29, 24-27. <https://doi.org/10.32837/apfs.v0i29.955> [in Ukrainian]
4. Fromm E. (2014). *Anatomiya chelovecheskoi destruktivnosti*. [Anatomy of human destructiveness]. Moskva: AST. [in Russian].
5. Anderson J. (2002). *Kognitivnaya psihologiya*. [Cognitive psychology]. St. Petersburg: Peter. [in Russian].
6. Leontiev D. A., Averina A. Zh. (2011). Fenomen refleksii v kontekste problemy samoregulyatsii [The phenomenon of reflection in the context of the problem of self-regulation]. *Psihologicheskie issledovaniya – Psychological research: electronic. science journal* 2(16). [in Russian]. <https://psystudy.ru/index.php/num/article/view/860>

7. Kukla A. (2008). *Mental'nye lovushki: Gluposti, kotorye delayut razumnye lyudi chtoby isportit` sebe zhizn`*. [Mental traps: Stupid things that intelligent people do to spoil their lives]. Moskva: Alpina Business Books. [in Russian]
8. Terno S. O. (2009). *Krytychne myslennya – suchasnyi vymir suspil`stvoznavchoi osvity*. [Critical thinking – a modern dimension of social science education]. Zaporizhzhia: Prosvita. [in Ukrainian]
9. Kahneman Daniel. (2017). *Myslennya shvydke i povil`ne*. [Thinking is fast and slow]. Kyiv: Nash format. [in Ukrainian]
10. Miller George A. (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two. *The Psychological Review*. 63, 2, 81–97.
11. Holovin M.B., Holovina N.A., Holovina N.M. (2018). Model'nyi rozglyad piznaval`nyh protsesiv, suputnih navchal`nomu programuvannyu. [Model review of cognitive processes associated with educational programming]. *Psychologichni perspektyvy – Psychological perspectives*. 31, 57-70. [in Ukrainian] [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppst\\_2018\\_31\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppst_2018_31_7)
12. Holovina Nina, Holovin Mykola (2021). Modeling of physical phenomena as a methodological means of forming a knowledge structure in physics and programming. *ScienceRise: Pedagogical Education*, 43, 18-25.
13. Galitsyn V.K., Sydorenko Y.T., Potapenko S.D. (2009). *Tehnologiya programuvannya I stvorennya programnyh produktiv*. [The technology of programming and creation of software products: training. manual ]. Kyiv: KNEU [in Ukrainian].