DOI: https://doi.org/10.31392/NZ-udu-168-1.2026.20
УДК 378.147:373.3.011.3-051:51:004

Ямполь Юрій Віталійович,
доктор філософії (PhD), асистент кафедри теорії та методик початкової освіти,
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
https://orcid.org/0000-0003-1749-859X
e-mail: m1b14.yampol@kpnu.edu.ua

ПІДГОТОВКА МАЙБУТНЬОГО ВЧИТЕЛЯ ПОЧАТКОВИХ КЛАСІВ ДО ІНТЕГРАЦІЇ МАТЕМАТИЧНОГО Й ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО МИСЛЕННЯ: СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ

У статті теоретично обґрунтовано структурно-функціональну модель підготовки майбутнього вчителя початкових класів до інтеграції математичного й обчислювального мислення. Актуальність проблеми пов'язана з тим, що цифрова компетентність педагога часто формується інструментально, тоді як продуктивна інтеграція програмування, алгоритмізації та математичного змісту потребує здатності бачити спільні когнітивні операції: декомпозицію, розпізнавання закономірностей, абстрагування, моделювання, побудову й перевірку алгоритму. Мета дослідження – визначити компоненти готовності майбутнього вчителя та змоделювати логіку її формування в професійній підготовці. Використано методи систематизації результатів сучасних міжнародних оглядів, порівняльного аналізу компетентнісних рамок, педагогічного моделювання та проєктування навчальних ситуацій. Запропонована модель містить п'ять взаємопов'язаних блоків: нормативно-цільовий, змістово-методичний, діяльнісно-технологічний, рефлексивно-аналітичний і результативний. Обґрунтовано принцип «математичний смисл перед інструментом», цикл перекладу «природна мова – математична модель – алгоритм – цифрова реалізація – перевірка – пояснення», а також критерії методичної доцільності цифрового засобу. Доведено, що обчислювальне мислення не повинно додаватися до методики математики як окремий технологічний модуль: воно має бути інтегроване через задачі, в яких алгоритмізація робить математичні зв'язки явними й перевірюваними. Практичне значення моделі полягає в можливості використання її для конструювання змісту методичних дисциплін, педагогічної практики, мікровикладання та оцінювання готовності майбутніх учителів до інтегрованого навчання. Наукова новизна полягає в поєднанні математично-методичного, алгоритмічного та рефлексивно-аналітичного компонентів у єдиній логіці професійної підготовки майбутнього вчителя.

Ключові слова: *початкова освіта; майбутній учитель; математичне мислення; обчислювальне мислення; алгоритмізація; цифрова компетентність; педагогічна модель.*

Міжнародний дискурс computational thinking зміщує акцент з навчання конкретної мови програмування на універсальні способи вирішення проблем: декомпозицію, абстрагування, алгоритмізацію, розпізнавання закономірностей, перевірку та налагодження. Систематичний огляд С. К. Нордбі, А. Г. Б'єрке і Л. Міфсуд показав, що в початковій математичній освіті обчислювальне мислення найчастіше інтегрується через послідовності, цикли, умови, debugging, декомпозицію й абстракцію, але поряд із цими «навичковими» елементами важливими є комунікація, творчість, дослідження й залучення [7].

Огляд H Ye та співавторів засвідчив, що продуктивна інтеграція математики й computational thinking має циклічний характер: математика використовується для побудови обчислювального артефакту, для прогнозування та інтерпретації його результату, а нові математичні знання можуть виникати паралельно з удосконаленням алгоритму [12].

Для підготовки вчителя це принципово: майбутній педагог повинен навчитися бачити не «урок математики з комп'ютером», а структуру взаємного підсилення двох типів мислення. Державний стандарт початкової освіти орієнтує навчання на компетентнісний результат і діяльнісні способи роботи [1], тоді як європейські рамки DigCompEdu та DigComp 2.2 акцентують на свідомому, критичному й педагогічно доцільному використанні цифрових технологій [8; 11]. Отже, професійна підготовка має поєднати математичний зміст, алгоритмічну репрезентацію, цифровий інструмент і педагогічну рефлексію в одній системі.

Проблема інтеграції математичного й обчислювального мислення активно розвивається в міжнародних дослідженнях. У систематичному огляді початкової математичної освіти виокремлено дві групи практик: орієнтовані на обчислювальні конструкції та орієнтовані на процеси дослідження й комунікації [7]. Це розрізнення має безпосереднє значення для підготовки вчителя: опанування циклів і умов без розуміння їхньої математичної функції перетворює інтеграцію на технічну вправу.

Дослідження Е. П. Голденберга та співавторів демонструє іншу перспективу: програмування може функціонувати як виражальна мова і своєрідний цифровий маніпулятив для математичних ідей. У роботі з молодшими школярами команди програмування використовувалися не як самоціль, а як спосіб зробити математичну дію явною, отримати результат і перевірити власне міркування [5]. Такий підхід важливий для методичної освіти майбутнього вчителя, оскільки вимагає розрізняти «цифровий ефект» і «математичний ефект» завдання.

Мета статті – теоретично обґрунтувати структурно-функціональну модель підготовки майбутнього вчителя початкових класів до інтеграції математичного й обчислювального мислення. Для досягнення мети поставлено завдання: 1) визначити методичний зміст інтеграції двох типів мислення; 2) окреслити компоненти готовності майбутнього вчителя; 3) побудувати блокову модель професійної підготовки; 4) сформулювати критерії педагогічної доцільності цифрового інструменту та приклади навчальних ситуацій для методичних дисциплін. Дослідження має теоретико-моделювальний характер; використано аналіз нормативних рамок, систематизацію результатів сучасних оглядів, порівняння підходів, педагогічне моделювання та task-design analysis.

Початковим положенням моделі є теза: обчислювальне мислення в математичній освіті не тотожне програмуванню. Програмування є лише одним із середовищ, у якому можуть бути матеріалізовані алгоритм, повторюваність, умова, параметр або процедура перевірки. Тому підготовка вчителя має

починатися з аналізу математичної дії, а не з інтерфейсу. Наприклад, завдання «побудувати квадрат роботом» має методичну цінність не через сам факт використання робота, а через необхідність утримувати сталість довжини, кут повороту, повторювану структуру та критерій замкненості фігури. Якщо ці зв'язки не обговорюються, учень може успішно натиснути блоки, але не сформувати математичне узагальнення.

Відповідно запропоновано принцип «математичний смисл перед інструментом». Майбутній учитель перед вибором цифрового засобу має відповісти на п'ять питань: яку математичну ідею має побачити учень; яку дію він виконує сам; що саме робить алгоритм явним; який зворотний зв'язок дозволяє перевірити міркування; чи зможе учень перенести висновок у задачу без цього інструменту. Ці питання виконують роль антидоту до технологічного ефекту новизни.

Другим положенням є цикл репрезентацій: природна мова → математична модель → алгоритм → цифрова реалізація → перевірка → пояснення. У звичайній шкільній задачі частина переходів часто залишається прихованою. Учень може відразу застосувати знайому формулу. Обчислювальна репрезентація змушує зробити процедуру достатньо точною, щоб її міг виконати інший виконавець. Саме точність інструкції створює педагогічний потенціал для усвідомлення математичної структури.

На цій основі готовність майбутнього вчителя визначаємо як інтегративну професійну здатність проєктувати, реалізовувати й аналізувати навчальні ситуації, в яких математичні поняття та способи міркування взаємно підсилюються елементами обчислювального мислення, а цифровий інструмент використовується лише тоді, коли має доведену дидактичну функцію. У структурі готовності виокремлено чотири компоненти: предметно-концептуальний, методично-проєктувальний, цифрово-алгоритмічний і рефлексивно-аналітичний.

Предметно-концептуальний компонент передбачає достатньо глибоке розуміння початкової математики, щоб бачити за шкільною процедурою узагальнювані структури. Майбутній учитель має розпізнавати, де природно виникають послідовності, повторення, класифікація, координування, функціональна залежність, симетрія, закономірність, вимірювання та робота з даними. Без цього цифровий інструмент добирається випадково.

Методично-проєктувальний компонент охоплює здатність конструювати завдання з низьким технічним порогом і високим когнітивним попитом, передбачати типові стратегії та помилки, планувати обговорення й переходи між репрезентаціями. Цифрово-алгоритмічний компонент включає володіння базовими структурами алгоритмів, блоковим програмуванням, простими середовищами моделювання та критичне розуміння обмежень автоматизації. Рефлексивно-аналітичний компонент полягає в умінні аналізувати учнівський цифровий артефакт як «слід мислення»: не лише бачити, чи працює програма, а встановлювати, яке математичне уявлення в ній закодовано і де виникла помилка.

Структурно-функціональна модель об'єднує п'ять блоків. Нормативно-цільовий блок пов'язує результати професійної підготовки з компетентнісними орієнтирами початкової освіти та цифрової компетентності. Змістово-методичний блок визначає математичні теми й обчислювальні ідеї, що мають природні точки інтеграції. Діяльнісно-технологічний блок задає формати роботи студента. Рефлексивно-аналітичний блок забезпечує аналіз рішень і помилок. Результативний блок описує критерії готовності й продукти, за якими її можна оцінити.

Таблиця 1

Структурно-функціональна модель підготовки майбутнього вчителя

Блок	***Ключовий зміст***	***Очікуваний продукт діяльності студента***
Нормативно-цільовий	Компетентнісні результати, математична й цифрова грамотність, етика	Матриця цілей інтегрованого завдання
Змістово-методичний	Математичні структури + декомпозиція, алгоритм, цикл, умова, debugging	Карта точок інтеграції в темі
Діяльнісно-технологічний	Unplugged, блокове програмування, моделювання, мікровикладання	Серія завдань і фрагмент уроку
Рефлексивно-аналітичний	Аналіз стратегій, помилок, когнітивного навантаження, трансферу	Протокол методичного розбору
Результативний	Обґрунтований дизайн, реалізація, оцінювання та вдосконалення	Портфоліо інтегрованих рішень

Джерело: авторська розробка.

Діяльнісно-технологічний блок має містити три взаємодоповнювальні режими. Перший – unplugged: студент розв'язує завдання через команди для людини-виконавця, картки, маршрут, сортування або тілесне моделювання. Це дозволяє відокремити обчислювальну ідею від цифрової техніки. Другий – цифрове втілення в середовищі з низьким порогом входу. Третій – мікровикладання, де студент не просто створює продукт, а проводить 7–12-хвилинний фрагмент навчальної взаємодії й отримує зворотний зв'язок щодо математичних запитань, а не щодо ефектності інтерфейсу.

Рефлексивно-аналітичний блок реалізується через порівняння альтернативних рішень. Студентам доцільно давати два або три скрипти, що приводять до однакового зображення, і просити визначити, який краще відображає математичну структуру. Найкоротший алгоритм не завжди найкращий педагогічно: інколи розгорнута послідовність на початковому етапі краще робить видимим повторення, а згортання в цикл має відбутися після усвідомлення закономірності. Отже, критерієм є не програмістська елегантність сама по собі, а дидактична прозорість.

Критерії методичної доцільності цифрового засобу можна звести до п'яти позицій: 1) смислова продуктивність – чи робить засіб математичний зв'язок більш видимим; 2) виражальність – чи дає учневі можливість виразити власний спосіб; 3) перевірюваність – чи дозволяє зіставити прогноз і результат; 4) когнітивна економія – чи не переважає технічна складність над математичним завданням; 5) трансфер – чи може учень пояснити здобутий висновок без інструменту. Якщо два останні критерії порушено, використання технології потребує перегляду.

У геометрії блокове програмування має високий потенціал, що узгоджується з результатами систематичних оглядів [7; 12]. Команди руху й повороту природно пов'язують кут, напрям, довжину, координати та симетрію. Проте в початковій школі необхідний контроль когнітивного навантаження: інтерфейс, синтаксис і кількість нових команд не повинні відбирати ресурс від математичного міркування. Саме тому підготовка вчителя має включати вміння «редукувати середовище» – давати лише ті блоки й функції, які потрібні для конкретної математичної мети.

Висновки. Інтеграція математичного й обчислювального мислення в початковій освіті потребує спеціальної методичної готовності вчителя, яка не зводиться до цифрової грамотності або вміння програмувати. Її ядром є здатність розпізнати спільну структуру математичної задачі й обчислювальної процедури, спроєктувати переходи між репрезентаціями, організувати прогнозування й перевірку та забезпечити перенесення математичного висновку за межі цифрового інструменту.

Запропонована структурно-функціональна модель включає нормативно-цільовий, змістово-методичний, діяльнісно-технологічний, рефлексивно-аналітичний і результативний блоки. Її методичним ядром визначено принцип «математичний смисл перед інструментом» і цикл «природна мова – математична модель – алгоритм – цифрова реалізація – перевірка – пояснення». Практичними механізмами реалізації є unplugged-завдання, блокове програмування, мікровикладання, аналіз альтернативних скриптів, debugging як педагогічний аналіз помилки та комплексна дизайн-задача для оцінювання готовності.

Перспективою подальших досліджень є емпірична апробація моделі в курсах методики навчання математики для спеціальності А3 «Початкова освіта», розроблення валідної рубрики оцінювання дизайн-задач і порівняння того, як різні форми мікровикладання впливають на здатність студентів обґрунтовувати цифровий вибір через математичний зміст.

Використана література:

1. Державний стандарт початкової освіти : постанова Кабінету Міністрів України від 21.02.2018 № 87 (зі змінами). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/87-2018-%D0%BF#Text.
2. Caena F., Redecker C. Aligning teacher competence frameworks to 21st century challenges: The case for the European Digital Competence Framework for Educators (DigCompEdu). *European Journal of Education.* 2019. Vol. 54, № 3. P. 356–369. DOI: https://doi.org/10.1111/ejed.12345.

3. Cui Z., Ng O.-L. The interplay between mathematical and computational thinking in primary school students' mathematical problem-solving within a programming environment. *Journal of Educational Computing Research.* 2021. DOI: https://doi.org/10.1177/0735633120979930.
4. Giannakoulas A., Xinogalos S. A review of educational games for teaching programming to primary school students. *Journal of Computers in Education*. 2024. Vol. 11. P. 1283–1325. DOI: https://doi.org/10.1007/s40692-023-00300-z.
5. Goldenberg E. P., Carter C. J., Mark J., Reed K., Spencer D., Coleman K. Programming as Language and Manipulative for Second-Grade Mathematics. *Digital Experiences in Mathematics Education*. 2021. Vol. 7. P. 48–65. DOI: https://doi.org/10.1007/s40751-020-00083-3.
6. Hadib M. A. M. et al. Computational thinking in mathematics education: A systematic literature review. *Jurnal Pendidikan Sains dan Matematik Malaysia*. 2022. Vol. 12. № 2. P. 22–38. DOI: https://doi.org/10.37134/jpsmm.vol12.2.2.2022.
7. Nordby S. K., Bjerke A. H., Mifsud L. Computational Thinking in the Primary Mathematics Classroom: a Systematic Review. *Digital Experiences in Mathematics Education*. 2022. Vol. 8. P. 27–49. DOI: https://doi.org/10.1007/s40751-022-00102-5.
8. Redecker C. European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2017. DOI: https://doi.org/10.2760/159770.
9. Refvik K., Bjerke A. H. Computational thinking and mathematics in primary school: teachers' perspectives on integration. *Nordic Studies in Mathematics Education*. 2022. Vol. 27. № 3. P. 5–27. DOI: https://doi.org/10.7146/nomad.v27i3.149191.
10. Sánchez-Camacho C., Grané M. Computational thinking in primary education: pedagogical opportunities and challenges. *Digital Education Review.* 2023. № 44. P. 133–145. DOI: https://doi.org/10.1344/der.2023.44.133-145.
11. Vuorikari R., Kluzer S., Punie Y. DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2022. DOI: https://doi.org/10.2760/115376.
12. Ye H., Liang B., Ng O.-L., Chai C. S. Integration of computational thinking in K-12 mathematics education: a systematic review on CT-based mathematics instruction and student learning. International *Journal of STEM Education.* 2023. Vol. 10. DOI: https://doi.org/10.1186/s40594-023-00396-w.

References:

1. Cabinet of Ministers of Ukraine. 2018. Derzhavnyi standart pochatkovoi osvity [State Standard of Primary Education]. Resolution № 87, February 21, 2018. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/87-2018-%D0%BF#Text. [in Ukrainian].
2. Caena F., Redecker C. (2019). Aligning Teacher Competence Frameworks to 21st Century Challenges: The Case for the European Digital Competence Framework for Educators (DigCompEdu). *European Journal of Education*. Vol. 54. № 3. P. 356–369. DOI: https://doi.org/10.1111/ejed.12345 [in English].
3. Cui Z., Ng O.-L. (2021). The Interplay between Mathematical and Computational Thinking in Primary School Students' Mathematical Problem-Solving within a Programming Environment. *Journal of Educational Computing Research*. DOI: https://doi.org/10.1177/0735633120979930 [in English].
4. Giannakoulas A., Xinogalos S. (2024). A Review of Educational Games for Teaching Programming to Primary School Students. *Journal of Computers in Education*. Vol. 11. P. 1283–1325. DOI: https://doi.org/10.1007/s40692-023-00300-z [in English].
5. Goldenberg E. P., Carter C. J., Mark J., Reed K., Spencer D., Coleman K. (2021). Programming as Language and Manipulative for Second-Grade Mathematics. *Digital Experiences in Mathematics Education*. Vol. 7. P. 48–65. DOI: https://doi.org/10.1007/s40751-020-00083-3 [in English].
6. Hadib M. A. M. et al. (2022). Computational Thinking in Mathematics Education: A Systematic Literature Review. *Jurnal Pendidikan Sains dan Matematik Malaysia*. Vol. 12. № 2. P. 22–38. DOI: https://doi.org/10.37134/jpsmm.vol12.2.2.2022 [in English].
7. Nordby S. K., Bjerke A. H., Mifsud L. (2022). Computational Thinking in the Primary Mathematics Classroom: A Systematic Review. *Digital Experiences in Mathematics Education*. Vol. 8. P. 27–49. DOI: https://doi.org/10.1007/s40751-022-00102-5 [in English].
8. Redecker C. (2017). European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 95 p. DOI: https://doi.org/10.2760/159770 [in English].

9. Refvik K., Bjerke A. H. (2022). Computational Thinking and Mathematics in Primary School: Teachers' Perspectives on Integration. *Nordic Studies in Mathematics Education*. Vol. 27. № 3. P. 5–27. DOI: https://doi.org/10.7146/nomad.v27i3.149191 [in English].
10. Sánchez-Camacho C., Grané M. (2023). Computational Thinking in Primary Education: Pedagogical Opportunities and Challenges. *Digital Education Review*. № 44. P. 133–145. DOI: https://doi.org/10.1344/der.2023.44.133-145 [in English].
11. Vuorikari R., Kluzer S., Punie Y. (2022). DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens. Luxembourg: Publications Office of the European Union. DOI: https://doi.org/10.2760/115376 [in English].
12. Ye H., Liang B., Ng O.-L., Chai C. S. (2023). Integration of Computational Thinking in K-12 Mathematics Education: A Systematic Review on CT-Based Mathematics Instruction and Student Learning. *International Journal of STEM Education*. Vol. 10. P. 3. DOI: https://doi.org/10.1186/s40594-023-00396-w [in English].

Yu. Yampol. Preparing future primary school teachers to integrate mathematical and computational thinking: a structural-functional model.

The article theoretically substantiates a structural-functional model for preparing future primary school teachers to integrate mathematical and computational thinking. The problem is relevant because teacher digital competence is often developed as tool proficiency, whereas meaningful integration of programming, algorithms and mathematics requires the ability to identify shared cognitive operations: decomposition, pattern recognition, abstraction, modelling, algorithm construction, debugging and verification. The study aims to determine the components of future teachers' readiness and to model a coherent logic for developing this readiness in teacher education. The methods include synthesis of recent systematic reviews, comparative analysis of competence frameworks, pedagogical modelling and design of instructional situations. The proposed model consists of five interconnected blocks: normative-target, content-methodological, activity-technological, reflective-analytical and outcome-oriented. The principle "mathematical meaning before tool" is introduced together with a translation cycle linking natural language, mathematical model, algorithm, digital implementation, verification and explanation. Criteria for the didactic justification of a digital tool are specified: contribution to mathematical meaning, visibility of reasoning, possibility of verification, cognitive economy and transfer beyond the tool. The study argues that computational thinking should not be appended to mathematics methods as a separate technology unit. Instead, it should be integrated through tasks in which algorithmic representation makes mathematical relations explicit, testable and discussable. The model can be used to design methods courses, teaching practice, microteaching, task-analysis workshops and assessment of future teachers' readiness for integrated mathematics and computing instruction.

Keywords: *primary education; future teacher; mathematical thinking; computational thinking; algorithmic thinking; digital competence; pedagogical model.*

Дата першого надходження рукопису до видання:08.05.2026

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 19.05.2026

Дата публікації:26.06.2026