

УДК 81'373.6:004

Тихонова Тетяна Валентинівна

доктор педагогічних наук, доцент, завідувачка кафедри педагогіки, психології та менеджменту освіти
Миколаївський обласний інститут післядипломної педагогічної освіти, м. Миколаїв, Україна
ORCID 0000-0002-5276-3478
tetiana.tykhonova@moippo.mk.ua

Кошкіна Ганна Леонідівна

викладачка кафедри сучасних мов
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, Україна
ORCID 0000-0001-6018-7397
forget.me.not@ukr.net

ЕТИМОЛОГІЯ, ГЕНЕЗИС ТА СУТНІСТЬ ПОНЯТТЯ «КОМП'ЮТАЦІЙНЕ МИСЛЕННЯ»

Анотація. У статті представлено історичні чинники та передумови виникнення поняття “computational thinking” («комп'ютаційне мислення»), а саме: поява та розповсюдження на широкий загальний мікропроцесорних комп'ютерів; відокремлення дисциплін сфери комп'ютерингу (computing) та їх перетворення на самодостатні дисципліни; еволюція способів мислення та дослідження з питань освіти у сфері комп'ютерингу; виникнення та розвиток освітніх мов програмування; поява комп'ютаційної науки (computational science). Також запропоновано періодизацію історичного розвитку поняття комп'ютаційного мислення та дисциплін сфери комп'ютерингу. Зазначено, що предтечею комп'ютаційного мислення є алгоритмічне мислення, котре вчені розглядають як «універсальне інтелектуальне знаряддя» (“universal mental tool”). Головною думкою багатьох наукових досліджень минулих років є те, що алгоритмічне мислення може «навчити» людський мозок краще розв'язувати проблеми в усіх сферах життя. Авторами уточнено поняття «комп'ютеринг», «комп'ютаційна наука». Досліджено етимологію поняття «комп'ютаційне мислення». На основі аналізу публікацій зарубіжних учених описано різні трактування сутності поняття «комп'ютаційне мислення» та його складових. Наголошено на відсутності чіткого визначення комп'ютаційного мислення. Підкреслено, що сутність поняття комп'ютаційного мислення знаходиться на перетині понять різних наук: комп'ютерних, математичних, інженерних, педагогічних, психологічних та інших. Роз'яснено, що не слід ототожнювати комп'ютаційне мислення ні з алгоритмічним і/або математичним мисленням, ні з комп'ютерною грамотністю, ні з інформаційною компетентністю. Головною відмінністю комп'ютаційного мислення від інших видів мислення є вміння представити інформацію у вигляді, зручному для автоматизації інформації, яка необхідна комп'ютерним системам для ефективного виконання повторюваних завдань. Це підкреслює зв'язок між комп'ютаційним мисленням та штучним інтелектом (Artificial Intelligence). Зроблено висновок, що комп'ютаційне мислення має складну розгалужену структуру і є універсальним умінням XXI століття, необхідним для вирішення різноманітних проблем у сучасному швидкоплинному цифровому світі.

Ключові слова: комп'ютаційне мислення; алгоритмічне мислення; універсальне інтелектуальне знаряддя; комп'ютеринг; комп'ютаційна наука; цифровий інтелект; цифрова компетентність.

1. ВСТУП

Постановка проблеми. Сучасне суспільство живе в епоху цифровізації (digitalization). Поява Індустрії 4.0, Освіти 4.0, нового покоління роботів, штучного інтелекту, big data, інтернету речей, блокчейну, 5G тощо створює нові виклики для світового, європейського та українського суспільства зокрема.

Саме в даному контексті Європейською Радою був прийнятий документ «Цифровий порядок денний для Європи» (“Digital agenda for Europe”) [1]. Європейські організації, серед яких Об’єднаний дослідницький центр Європейської Комісії (JRC), оголосили стратегію на виконання та підтримку низки досліджень та ініціатив під назвою «Навчання та навички у цифрову еру» (“Learning and Skills for the Digital Era”), які покликані створити інструменти для різних категорій спеціалістів з метою узагальнення світового, європейського досвіду опанування навичками 21 століття для використання ІКТ у навчанні та роботі. У межах даної стратегії у 2017 році Європейською комісією було представлено Рамку цифрової компетентності для громадян (“DigComp 2.1: Digital Competence Framework for Citizens”) [2], до якої увійшли описи дескрипторів та рівнів володіння цифровою компетентністю громадянами.

Відповідні рухи відбуваються і в Україні. 18 вересня 2019 року постановою Кабінету Міністрів України затверджено Положення «Про Міністерство цифрової трансформації України» [3]. Згідно цього документа основними завданнями Міністерства цифрової трансформації є формування та реалізація державної політики у сферах:

- цифровізації, цифрового розвитку, цифрової економіки, цифрових інновацій, електронного урядування та електронної демократії, розвитку інформаційного суспільства;
- розвитку цифрових навичок та цифрових прав громадян;
- відкритих даних, розвитку національних електронних інформаційних ресурсів та інтероперабельності, розвитку інфраструктури широкопasmового доступу до Інтернету та телекомунікацій, електронної комерції та бізнесу;
- надання електронних та адміністративних послуг;
- електронних довірчих послуг та електронної ідентифікації;
- розвитку ІТ-індустрії.

27 вересня 2019 року Міністерство цифрової трансформації презентувало проєкт «Дія» [4], який може максимально спростити і прискорити будь-яку взаємодію людини з державою, зробивши максимум процесів електронними та автоматичними.

Отже, сьогодні перед людиною стоять нові виклики, які потребують цифрових компетентностей (digital competences), умінь та навичок (digital skills). Цифрові технології змінюють спосіб, у який ми навчаємось, працюємо, спілкуємось і навіть мислимо. Можна сказати, що розумова діяльність людей поступово змінюється залежно від низки нових імпульсів, що надходять з цифрового світу. Останнім часом з’явився новий термін – «цифровий інтелект» (digital intelligence) – сукупність соціальних, емоційних та когнітивних здібностей, що дозволяють людям відповідати на виклики та адаптуватися до вимог цифрового життя [5]. Однією з рушійних сил у цьому напрямку і є розвиток “computational thinking” («комп’ютаційного мислення») – «універсального інтелектуального знаряддя» (“universal mental tool”) [6] для підтримки індивідуального та суспільного розвитку в сучасному швидкоплинному цифровому світі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Відповідно до аналізу останніх досліджень та публікацій зарубіжних авторів історичний шлях розвитку поняття комп’ютаційного мислення у сфері комп’ютерингу та освіти можна умовно розділити на три періоди:

✓ Кінець 1950-х – початок 1970-х років;

У цей період комп’ютеринг поступово перетворюється на автономну дисципліну. Цей процес тісно пов’язаний з необхідністю уточнення понять, що відрізняють нову дисципліну від інших наук, таких як математика чи фізика. До 1950-х програмування

було головним чином технологічним процесом. Поява незалежних від комп'ютера («універсальних», у термінології того часу) мов програмування дозволяла виражати алгоритми без застосування обчислювальної машини, завдяки чому алгоритми та їх властивості піддаються формальному дослідженню.

Наявність універсальних мов програмування надає можливість сфері комп'ютерингу відокремитись від свого минулого (складеного з математики, кібернетики, логіки, фізики, техніки та лінгвістики) і представити себе як науку про алгоритмічне вирішення проблем, для якої розробляються нові мови. Більшість науковців цього періоду розглядають алгоритмічне мислення як «універсальне інтелектуальне знаряддя» [6], [7], [9], [10], характерне лише для дисциплін сфери комп'ютерингу.

Саме в цьому контексті у 1960 році Алан Перліс (Alan Perlis) використовує термін алгоритмізація, класифікуючи його як «частину основного процесу мислення» [6]. Науковець запевняє, що «студенти краще користуватимуться комп'ютерами, сприймаючи їх як загальні інструменти для процесу мислення, а не як засоби для вирішення конкретних проблем» [6].

Джордж Форсайт (George Forsythe), засновник і керівник відділу комп'ютерних наук Стенфордського університету, коментує освітнє значення інформатики так: «Найціннішим здобутком технічної освіти є ментальні інструменти загального призначення (general-purpose mental tools), які залишаються придатними для використання впродовж життя. Я вважаю природну мову, математику та інформатику найважливішими з цих інструментів». [7]

У 1970 Марвін Мінський (M. Minsky), дослідник у галузі штучного інтелекту, лауреат премії Тюрінга 1969 року запевняє, що лише інформатик має необхідні компетенції «розробляти та передавати моделі процесу навчання як такого» [8].

Е. Дейкстра (E. Dijkstra) у статті, що обговорює гносеологічний статус програмування у порівнянні з математикою [9] зазначає, що програмування дає унікальну можливість освоїти складність системи, яка обробляється через «ієрархічну структуру», де «єдина технологія» (мова програмування різних рівнів абстракції) охоплює всі рівні ієрархії. Саме це «наділяє програмування як інтелектуальну діяльність унікальними рисами».

Дональд Кнут (Donald Knuth) (почесний професор Стенфордського університету, лауреат премії Тюрінга 1974 року, у віці 36 років) переконаний «у педагогічній цінності алгоритмічного підходу, що допомагає у розумінні різних концепцій». Професор запевняє, що «вивчення інформатики допоможе впоратися з багатьма іншими предметами» [10].

Ближче до кінця 1960-х починають з'являтися освітні мови програмування, що допомагають учням краще зрозуміти, як влаштована обчислювальна техніка, і, досліджуючи ці особливості, пізнавати способи власного мислення [11]:

- BASIC (John Kemeny, Thomas Kurtz, 1964);
- LOGO (Wally Feurzeig, Seymour Papert, Cynthia Solomon, 1967);
- Pascal (Niklaus Wirth, 1970);
- Smalltalk (Alan Kay, Dan Ingalls, Adele Goldberg, 1972).

Наукові нароби вищезазначених авторів є першими паростками комп'ютаційного мислення, однак їх вплив на фактичну реформу освіти був незначним, тому що комп'ютери все ще здебільшого застосовувались у науковому та інженерному середовищі та у великих корпораціях.

✓ Середина 1970-х – кінець 1990-х років;

Поява мікропроцесорних комп'ютерів та їх розповсюдження викликають нову хвилю досліджень у сфері освітнього комп'ютерингу. Учені продовжують розробку освітніх мов програмування [11]:

- Scheme (Guy Steele, Gerald Sussman, 1975)
- Boxer (Andrea diSessa, Harold Abelson, 1986);
- Racket (PLT Inc., 1995).

Особливої уваги серед здобутків науковців цього періоду заслуговують роботи видатного математика, програміста, психолога і педагога Сеймура Пейперта (Seymour Papert). У 1980 році С. Пейперт першим використовує словосполучення «комп'ютаційне мислення» у своїй книзі «Переворот у свідомості: діти, комп'ютери та плідні ідеї» (“Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas”) [11], де порушує питання про те, як комп'ютери можуть вплинути на спосіб мислення та навчання людей. Револьюційні ідеї видатного вченого можна описати наступними тезами [11]:

- необхідно досліджувати не лише те, чого комп'ютери можуть навчити дітей, а й те чого діти можуть навчити комп'ютери, якщо більш дослівно, то не лише, як комп'ютери можуть «запрограмувати» дітей, а і як діти можуть «запрограмувати» комп'ютери, фокусуючись на процесах мислення;
- навчання буде більш ефективним через створення (making) цікавих саме для учнів речей (артефактів);
- роль учителя в тому, аби створити відповідні умови для винаходів, а не забезпечити готовими знаннями;
- комп'ютери не замінять учителів. Навпаки, учителям доведеться стати більш кваліфікованими, щоб впровадити нові технології в загальний освітній процес.

✓ **Початок 2000-х – сьогодні.**

Для цього періоду характерні всеосяжний розвиток інформаційних технологій та їх впровадження в різні сфери людської діяльності, зокрема і в освіті. Сучасними версіями освітніх мов програмування стають [11]:

- Alice (Saarland University, 2000);
- Scratch (Mitchel Resnick, 2003);
- Snap! (Build Your Own Blocks or BYOB, Brian Harvey, Jens Mönig, 2011);
- Blockly (Neil Fraser, Quynh Neutron, Ellen Spertus, Mark Friedman, 2012);
- Code Studio (Microsoft, 2015);
- Stride (Michael Kölling, 2017).

У 2006 році професорка Колумбійського університету Жанетта Вінг (Jeannette Wing) відродила поняття комп'ютаційного мислення та викликала нову хвилю наукових пошуків у цій сфері.

Означення та сутність поняття комп'ютаційного мислення досліджували: Ж. Вінг (J. Wing), П. Деннінг (P. Denning), Д. Хеммендінгер (D. Hemmendinger), С. Фербер (S. Furber), А. Ядав (A. Yadav), К. Бреннан (K. Brennan), М. Реснік (M. Resnick), Я. Алсоп (Y. Allsop), С. Селбі (C. Selby), Дж. Воллард (J. Wollard), Є. К. Хеннер, С. Гровер (S. Grover), Р. Пі (R. Pea). Наразі вченим не вдалося досягти консенсусу в цьому питанні.

Ж. Вінг (J. Wing) та Є. К. Хеннер досліджували відмінності комп'ютаційного мислення від інших типів мислення. К. Бреннан (K. Brennan), М. Реснік (M. Resnick) наголосили на ролі метапізнання у процесі здійснення комп'ютаційного мислення. Дж. Лу (J. Lu), Дж. Флетчер (G. Fletcher) підкреслили зв'язок між комп'ютаційним мисленням (Computational Thinking (CT)) та штучним інтелектом (Artificial Intelligence (AI)).

Слід зазначити, що у вітчизняній педагогічній науці порушувалися питання, пов'язані з поняттям «computational thinking», але глибоко не досліджувались, більш того, переклад цього терміна українською мовою ще не є сталим. Деякі автори пропонують словосполучення «обчислювальне мислення» [12, 13], є приклади

вживання терміна «комп'ютерне мислення» [14]. Ми вважаємо, що будь-який переклад українською мовою слова «computational» (обчислювальне, комп'ютерне, операційне) звужує його смисл та сутність, тому пропонуємо ввести термін «*комп'ютаційне мислення*» (за аналогією з терміном «комп'ютаційна педагогіка» [15]).

Незважаючи на те, що зарубіжні вчені зробили значний вклад у розкриття сутності поняття «комп'ютаційне мислення», ще багато питань залишаються недослідженими. Оскільки комп'ютаційне мислення є новою галуззю наукового педагогічного знання, його визначення не є сталим. Потребують розгляду питання уточнення сутності поняття «комп'ютаційного мислення» у вітчизняній педагогічній науці, проблеми визначення місця комп'ютаційного мислення у питаннях розвитку розумової діяльності учнів, ролі й місця комп'ютаційного мислення серед ключових компетентностей, формування і розвитку комп'ютаційного мислення дітей та дорослих людей, зокрема вчителів.

Мета статті – на основі аналізу публікацій зарубіжних учених дослідити історичні чинники виникнення поняття комп'ютаційного мислення, пояснити його сутність та складові.

2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Історичні чинники та передумови виникнення поняття “computational thinking”

Історичний розвиток поняття комп'ютаційного мислення тісно пов'язаний з історією розвитку комп'ютерних наук. Тедре Матті (Tedre Matti) та Пітер Деннінг (Peter Denning) у своїй праці «Довгий шлях до комп'ютаційного мислення» (“The Long Quest for Computational Thinking”) представляють огляд важливих історичних чинників, завдяки яким і виникло комп'ютаційне мислення: еволюція способів мислення у сфері комп'ютингу (computing), дослідження з питань освіти у сфері комп'ютингу та поява комп'ютаційної науки (computational science) [16]. У наступних підпараграфах (2.1.1, 2.1.2) ми детально описуємо кожен з вищезазначених чинників.

2.1.1. Еволюція способів мислення та дослідження з питань освіти у сфері комп'ютингу

Для початку уточнимо поняття комп'ютингу. «У загальному сенсі комп'ютинг означає будь-яку цілеспрямовану діяльність, що передбачає застосування, отримання користі від або створення комп'ютера. Комп'ютинг включає в себе проектування та побудову апаратних та програмних систем для широкого кола цілей; обробку, структурування та управління різними видами інформації; проведення наукових досліджень за допомогою комп'ютерів; створення та використання засобів комунікації та розваг; пошук та збір інформації, яка має відношення до певної мети тощо. Список практично нескінченний, а можливості величезні. Комп'ютинг також має інші значення, які є більш конкретними, виходячи з контексту, в якому використовується цей термін. Наприклад, фахівець з інформаційних систем буде розглядати комп'ютинг трохи інакше, ніж інженер-програміст» [17].

Сьогодні комп'ютинг охоплює п'ять навчальних дисциплін: інформатику, комп'ютерну інженерію, програмну інженерію, інформаційні системи та інформаційні технології, але так було не завжди. Історичні зміни, що відбувались з дисциплінами сфери комп'ютингу можна умовно розділити на три періоди [17]:

✓ **До 1990-х років;**

У Північній Америці освітні програми з дисциплін сфери комп'ютерингу почали з'являтися у 1960-х. Тоді існувало лише три дисципліни: інформатика, електрична інженерія та інформаційні системи. З появою мікропроцесорів у 1970-х роках комп'ютерна інженерія почала відгалужуватись від електричної інженерії.

У 1989 році в доповіді Асоціації обчислювальної техніки (Association for Computing Machinery, ACM) та Інституту інженерів електротехніки та електроніки (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) «Комп'ютеринг як дисципліна» стверджується, що комп'ютеринг містить теорію, абстрагування та проєктування [18].

✓ **Протягом 1990-х років;**

- Комп'ютерна інженерія остаточно відокремилась від електричної інженерії і перетворилась на самодостатню дисципліну. Цьому посприяло те, що комп'ютерні мікросхеми стали основними компонентами багатьох видів електричних та механічних пристроїв.
- Інформатика швидко розвивалась і стала правомірною навчальною дисципліною. У 1970-х існували суперечки щодо того, чи є інформатика самодостатньою навчальною дисципліною. Прихильники стверджували, що інформатика є незалежною дисципліною з власною самобутністю, критики ж вважали її дослідницькою платформою для математиків або псевдодисципліною для програмістів. У 1990-х роках значний обсяг теоретичних та практичних знань, досліджень та інновацій у сфері інформатики досяг такого рівня, що всі суперечки щодо її правомірності зникли.
- Програмна інженерія виникає як область інформатики. У той час, як інформатика зосереджується на створенні нових знань, програмна інженерія – на чітких методах проєктування та побудови речей, які надійно виконують те, що задумано. Основні конференції з програмної інженерії були проведені у 1970-х, а протягом 1980-х деякі програми з інформатики містили в собі курси програмної інженерії. Однак у США лише в 1990-х розробка програмного забезпечення стала значущим компонентом вивчення інформатики в багатьох закладах.
- Програмна інженерія почала розвиватись як незалежна дисципліна. Освітні програми з програмної інженерії виникли у Сполученому Королівстві Великої Британії та Австралії протягом 1980-х років, у Сполучених Штатах - у 1990-х.
- Інформаційні системи були покликані вирішувати зростаюче коло проблем. До 1990-х спеціалісти з інформаційних систем орієнтувались насамперед на обчислювальні потреби, які існували в діловому світі: системи бухгалтерського обліку, системи нарахування заробітної плати, системи обліку запасів тощо. У 1990-х персональні комп'ютери почали активно продаватись, вони вже не були інструментами лише для технічних спеціалістів, а стали невід'ємними частинами робочого середовища, яким користуються люди на всіх рівнях організації. Через зростаючу роль комп'ютерів організації мали більше доступу до інформації ніж будь-коли раніше та організаційні процеси все частіше здійснювались за допомогою обчислювальної техніки. Проблеми управління інформацією, належного використання інформації та технологій для підтримки організаційної ефективності стали нагальними питаннями. Через ці фактори зростають виклики, з якими стикаються спеціалісти інформаційних систем. Крім того, все більша увага приділяється використанню обчислювальної техніки як засобу зв'язку та спільного прийняття рішень в організаціях.
- Комп'ютери стали важливими інструментами роботи на всіх рівнях більшості організацій, і мережеві комп'ютерні системи стали інформаційним кістяком

організацій. Це покращило продуктивність і водночас створило нові залежності на робочому місці, оскільки проблеми в обчислювальній інфраструктурі можуть обмежити можливості працівників виконувати свою роботу. ІТ-відділи корпорацій та інших організацій взяли на себе нову відповідальність забезпечити придатність обчислювальної інфраструктури організації, її надійну роботу. Стало ясно, що діючі на той час освітні програми не забезпечують працівників, які мали б відповідне поєднання знань та навичок. Тому наприкінці 1990-х почали з'являтися освітні програми в галузі інформаційних технологій, щоб заповнити цю прогалину.

✓ **Після 1990-х років.**

Сфера комп'ютерингу після 1990-х пропонує суттєвий вибір дисциплін:

- комп'ютерна інженерія займається проектуванням та побудовою комп'ютерів та комп'ютерних систем;
- інформатика охоплює широкий діапазон, від теоретичних та алгоритмічних основ до передових розробок у робототехніці, інтелектуальних системах, біоінформатиці та інших захоплюючих сферах;
- інформаційні системи зосереджені на інтеграції інформаційних технологічних рішень та бізнес процесів для задоволення інформаційних потреб підприємств, що дозволяє ефективно та дієво досягти їх мети;
- інформаційні технології – це поняття, що має два значення. У широкому розумінні цей термін часто використовується для позначення всієї сфери комп'ютерингу. В академічних колах це стосується освітніх програм, які готують студентів до задоволення потреб бізнесу, уряду, охорони здоров'я, шкіл та інших видів організацій у комп'ютерних технологіях.
- програмна інженерія – це дисципліна розробки та підтримки надійних та ефективних програмних систем, що задовольняють усі пред'явлені клієнтами вимоги.

Сфері комп'ютерингу притаманні певні способи мислення, що пройшли еволюційний шлях свого становлення та розвитку.

Наприкінці 1950-х років Алан Перліс (Alan Perlis), що був одним з піонерів у сфері комп'ютерингу, розглядає кодування як «універсальне інтелектуальне знаряддя» (“universal mental tool”) для вирішення широкого кола проблем. У 1960 році він стверджує, що цінність комп'ютерів не просто в їх використанні, а в розвитку певного стилю мислення під час обмірковування проблеми і розробки рішень. Науковець називає алгоритмізацією кількісний аналіз способу виконання дій будь-ким, і запевняв, що вона так вкорінилась у культуру, що кожен повинен рано чи пізно їй навчитися [6].

У 1968 році Форсайт (Forsythe) вважає, що унікальні способи мислення, характерні для сфери комп'ютерингу, розвивають інтелектуальні знаряддя загального призначення, які залишаються придатними протягом усього життя [7]. Отже, алгоритмічне мислення може «навчити» людський мозок краще розв'язувати проблеми в усіх сферах життя [7].

М. Мінський (M. Minsky), Д. Кнут (D. Knuth), В. Фойерцайг (W. Feurzeig), П. Кугель (P. Kugel) підтримують думку про те, що навчання програмуванню, процедурне мислення призводить до розвитку пізнавальних навичок вищого порядку. У 1970 році Мінський (Minsky) писав, що у сфері освіти програмування поступово стане важливішим, ніж математика, і запевняв, що поняття процедури було тією таємницею, на котру педагоги дуже довго очікували [8]. Д. Кнут писав про «педагогічне значення алгоритмічного підходу, що допомагає у розумінні понять усіх видів» [10]. В. Фойерцайг стверджував, що навчання програмуванню також покращує логічне

мислення в цілому [16]. П. Кугель (P. Kugel) порівнював роль комп'ютерного мислення з роллю логіки в середньовіччі, коли вона повинна була «загострити розум» [16]. Деякі ідеї алгоритмічного мислення зачарували педагогів у різних галузях, і багато журналів у сфері комп'ютерних та освітніх публікацій у сфері комп'ютерних наук були насичені описами комп'ютерних програм у гуманітарних коледжах.

З метою розкриття сутності алгоритмічного мислення Д. Кнут аналізував роботи математиків, у яких обговорювались «типи мислення», протиставляв їх тим, що використовували вчені у галузі комп'ютерних наук, і отримав наступні висновки [10]:

- формальне відображення реальності, спрощення складних проблем, абстрактні міркування, інформаційні структури і використання алгоритмів властиві алгоритмічному мисленню, а не математичному;
- дві риси мислення, що відрізняють мислення програміста від мислення математика – це процедурність (процесуальність) мислення і спрямованість на економічність (оптимальність) продукту.

Словосполучення «універсальне інтелектуальне знаряддя» [6] часто з'являється у визначеннях алгоритмічного мислення. Наприклад, у 1974 році Д. Кнут стверджував, що алгоритмічне мислення є універсальним знаряддям у різних галузях від хімії до лінгвістики та музики. Він був прихильником ідеї «програмування для навчання», а не «навчання для програмування». Д. Кнут вважав, що спроби «навчити» комп'ютер через вираження процесу у вигляді алгоритму і програми призводять до набагато глибшого розуміння і точності, ніж будь-який традиційний спосіб мислення. За аналогією з відомим прислів'ям він написав: «Людина не може зрозуміти щось остаточно, доки не навчить цього комп'ютера» [10].

Е. Дейкстра (E. Dijkstra) і Дональд Кнут (Donald Knuth), підтвердили думку про те, що дисциплінарна ідентичність комп'ютерного мислення обумовлена його унікальними психічними процесами [9]. У 1979 Е. Дейкстра вважав, що унікальність комп'ютерного полягає у формуванні алгоритмічного мислення, яке характеризується: 1) оволодінням природною мовою з метою подолання розриву між неформально вираженими проблемами та формальними рішеннями; 2) здатністю створювати власні формалізми і концепції при розв'язанні задач і 3) здатністю до переходу на різні семантичні рівні – свого роду «ментальний об'єкт» [9].

До середини 1980-х років учені визнали, що комп'ютерне мислення передбачає не лише розробку та аналіз алгоритмів, а й будову моделей та систем, які служать платформою та інфраструктурою для виконання алгоритмів. У 1984 році Болтер (Bolter) стверджував, що комп'ютерне мислення є визначальною технологією нинішньої епохи, і, подібно до «класичної людини» і «сучасної людини», він описав комп'ютерний образ людини, «людину Тюрінга», як квінтесенціальне зображення людства в комп'ютерну еру [16].

У 1996 році Абельсон (Abelson) і Суссман (Sussman) роблять такий висновок: «Комп'ютерна революція – це революція в тому, як ми думаємо, і в тому, як ми виражаємо те, що думаємо» [16].

Один із найважливіших внесків у розвиток поняття комп'ютерного мислення у сфері освіти був зроблений Сеймуром Пейпертом (Seymour Papert). У своїй книзі 1980 року «Переворот у свідомості: діти, комп'ютери та плідні ідеї» (“Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas”) автор вперше використав термін «комп'ютерне мислення» [19, с.182]. Одним із тверджень у цій книзі було те, що навчання програмування розвиває когнітивні навички, які підвищують здатність учнів вирішувати проблеми в різних сферах – перехід від «навчання для програмування» до «програмування для навчання» [19]. Передбачалось, що ідеї комп'ютерного мислення можуть використовуватись для навчання різним предметам, від фізики до музики, але

що більш важливо, вони «можуть змінити спосіб, в котрий діти дізнаються все нове» [19, с.8]. Видатний математик, програміст, психолог і педагог виступав за емпіричний підхід до побудови знань з використанням комп'ютерів та мови програмування Logo. Головною метою Logo було допомогти учням у формуванні математичного і логічного мислення. Він описав процедурне мислення як потужний інтелектуальний інструмент.

У Женевському університеті Сеймур Пейперт співпрацював із Жаном Піаже (Jean Piaget), котрий започаткував теорію навчання, відому як конструктивізм (constructivism). Основною ідеєю цієї теорії є те, що учні конструюють (construct) нові знання (у своїх думках) на основі взаємодії свого досвіду з попередніми знаннями. С. Пейперт, своєю чергою, розробив теорію конструкціонізму, котра зводиться до двох тез: навчання є реконструкцією, а не передаванням знань; навчання є найбільш ефективним, коли учень творить змістовний продукт. С. Пейперт більше зосереджується на мистецтві навчання, «навчанні вчитися», і на значенні створення речей (making things) у навчанні [19].

Наступники С. Пейперта Мітчел Реснік (Mitchel Resnick) та Карен Бреннан (Karen Brennan) розглядають поняття комп'ютаційного мислення у трьох вимірах: комп'ютаційні поняття (наприклад, ітерація, паралельність), комп'ютаційні дії (пошук та виправлення помилок, повторна переробка) та комп'ютаційні перспективи (уявлення про перспективи розвитку навколишнього світу та себе у ньому) [20].

2.1.2. Поява комп'ютаційної науки

Поява комп'ютаційної науки призвела до нової хвилі комп'ютаційного мислення, цього разу ініційованої не вченими сфери комп'ютерингу, а науковцями різних галузей. Представники різних галузей науки навчаються комп'ютаційного мислення не через вивчення комп'ютерних наук, а через створення своїх власних комп'ютерних моделей [16].

У 2005 році Консультативний комітет президента США з питань інформаційних технологій опублікував доповідь під назвою «Комп'ютаційна наука: забезпечення конкурентоспроможності Америки», у якій зазначалось: «Нарівні з теоретичною та експериментальною, комп'ютаційна наука є «третьою складовою» наукового дослідження, яка дозволяє дослідникам будувати та випробовувати моделі складних явищ, котрі неможливо відтворити в лабораторії, таких як: багатовікові кліматичні зміни, багатовимірне навантаження на літальний апарат під час польоту та зоряні вибухи, а також керувати величезними обсягами даних швидко та економічно» [21].

Комп'ютаційна наука (computational science) – це міждисциплінарна галузь, що швидко розвивається і поєднує в собі комп'ютерне моделювання, наукову візуалізацію, математичне моделювання, комп'ютерне програмування, структури даних, мережеві структури, розробку баз даних, символічні обчислення (symbolic computation) та високопродуктивний комп'ютеринг, які здатні трансформувати практику найрізноманітніших дисциплін [22]. Під впливом комп'ютаційної науки набули подальшого розвитку: обчислювальна математика, обчислювальна біологія, обчислювальна хімія, обчислювальна механіка, обчислювальна археологія, обчислювальне фінансування, обчислювальна соціологія та обчислювальна криміналістика [23], а також комп'ютаційна педагогіка [15].

2.2. Етимологія, сутність поняття “computational thinking” та його складові

Для кращого розуміння сутності поняття “computational thinking”, необхідно провести етимологічний аналіз слова “computational”, утвореного від англійського дієслова “compute”, яке в свою чергу походить від латинського слова “computare”, що означає «обчислювати, рахувати». Саме слово “computare” походить від

латинського “com”, що означає «з», і латинського “putare”, що означає «приймати рішення, вирішувати, з'ясовувати, думати, вважати» [24].

Іменник “computation” також утворився від дієслова “compute”. У тлумачному словнику англійської мови представлені наступні значення слова “computation” [25]:

- дія, процес, метод або результат обчислення, розрахунку;
- використання комп'ютера або комп'ютерні дії;
- процес виконання арифметичних або логічних дій (операцій), а також обробка даних (інформації) за допомогою електронного пристрою;
- метод вирішення проблем.

“Computation” (обчислення) – математичне перетворення, що дозволяє змінювати вхідний потік інформації у вихідний, з відмінною від першого структурою. Якщо дивитися з точки зору теорії інформації, обчислення – це отримання нового знання з вхідних даних. Цей термін використовується в широкому діапазоні значень, від арифметичного обчислення суми чисел до обчислення шансів на перемогу в конкурсі за допомогою складного евристичного аналізу [26].

У 2006 році професорка Колумбійського університету Жанетта Вінг (Jeanette Wing) відродила поняття «комп'ютаційне мислення», що викликало нову хвилю досліджень у цій сфері. Вона стверджує, що комп'ютаційне мислення «включає розв'язання проблем, розробку систем і розуміння людської поведінки, спираючись на фундаментальні принципи комп'ютерної науки», але воно «є фундаментальним умінням для всіх, а не тільки для вчених у галузі комп'ютерних наук» [27]. Однак після подальших доопрацювань у 2010 році авторкою було запропоновано наступне визначення: «комп'ютаційне мислення – це процеси мислення, які беруть участь у постановці проблеми і її вирішенні таким чином, щоб рішення були представлені у формі, що може бути ефективно реалізована за допомогою засобів обробки інформації» [27]. У 2017 році Жанетта Вінг надає таке визначення: «комп'ютаційне мислення – це процеси мислення, які використовуються для формулювання проблеми і висловлення її рішення або рішень в термінах, які можуть бути ефективно реалізовані комп'ютером або людиною» [27].

Авторка пояснює: «Моя інтерпретація слів «проблема» і «рішення» є широкою. Я маю на увазі не тільки математично чітко визначені проблеми, вирішення яких повністю аналізовані, наприклад, доказ, алгоритм або програма, а й проблеми в реальному світі, вирішення яких можуть мати вигляд великих, складних програмних систем. Таким чином, комп'ютаційне мислення тісно пов'язане з логічним мисленням і системним мисленням. Воно включає в себе алгоритмічне мислення і паралельне мислення, а також інші види розумових процесів, таких, як композиційні міркування, дії за шаблоном, процедурне мислення і рекурсивне мислення. Комп'ютаційне мислення використовується в постановці і аналізі проблем і їх рішень, в широкому тлумаченні» [27].

За Жанеттою Вінг комп'ютаційне мислення має такі характеристики [27]:

- Концептуалізація, а не програмування. Комп'ютерні науки – це не лише програмування. Здатність мислити як учений у галузі комп'ютерних наук означає більше, ніж уміння програмувати. Це вимагає вміння мислити на різних рівнях абстракції.
- Фундаментальне, а не загальне вміння. Фундаментальне вміння – це те, що кожна людина повинна вміти, щоб функціонувати в сучасному суспільстві. Під загальним умінням мається на увазі механічне виконання рутинної роботи.
- Комп'ютаційне мислення – спосіб мислення, властивий лише людям, а не комп'ютерам. Спосіб, у який люди вирішують проблеми, а не намагання змусити людей мислити як комп'ютер. Комп'ютери не здатні мислити, вони є

результатом мислення людини. На відміну від комп'ютерів люди, вирішуючи проблеми, виявляють розум, уяву, емоції і творчість. Використовуючи комп'ютерні пристрої, ми можемо вирішувати такі проблеми, на котрі не наважились би до комп'ютерної ери і створювати системи, рівень функціональності котрих буде обмежений лише нашою уявою.

- Комп'ютаційне мислення доповнює і поєднує математичне та інженерне мислення. Основою комп'ютерних наук, як і більшості інших наук, є математичне мислення. Інженерне мислення також характерне для комп'ютерних наук, тому що вони створюють системи, які взаємодіють з реальним світом.
- Ідеї, а не артефакти. Під комп'ютаційним мисленням треба розуміти не лише створення програмних і технічних артефактів, а й створення комп'ютаційних концептів для вирішення проблем, скеровування нашого життя, комунікації і взаємодії з іншими людьми.
- Комп'ютаційне мислення для всіх і скрізь. Комп'ютаційне мислення буде реальністю, коли воно стане настільки невід'ємним від людських зусиль, що зникне як явна філософія.

Оскільки комп'ютаційне мислення є новою галуззю наукового дослідження, його визначення не є сталим. Далі представлена низка дефініцій від різних авторів, а саме: П. Деннінга, Д. Хеммендінгера, С. Фербера та А. Ядава. Отже, на їх думку, комп'ютаційне мислення це:

- розумова установка на формулювання проблем (задач) у вигляді перетворень певних вхідних даних на вихідні і створення алгоритмів для здійснення цих перетворень. Пізніше це визначення було розширено, а саме: мислення на різних рівнях абстракції, яке передбачає використання математики для розробки алгоритмів та вивчення того, наскільки швидко буде знайдено рішення проблеми (задачі) в залежності від її складності [28] (Пітер Деннінг (Peter Denning), професор Вищої школи ВМС (Naval Postgraduate School) США, 2009);
- процес, що навчає економіста, фізика, художника використовувати обчислення (computation) для вирішення професійних проблем, досліджувати нові проблеми, які можуть бути успішно вирішені [29] (Давид Хеммендінгер (David Hemmendinger), професор Юніон коледжу (Union College), 2010);
- процес розпізнавання аспектів обчислень (computation) та застосування інструментів і методів комп'ютерних наук для розуміння природних і штучних систем та процесів [30] (Стівен Фербер (Steven Furber), професор Манчестерського університету (University of Manchester), 2012);
- психічний процес, спрямований на абстрагування проблем та створення автоматизованих рішень [31] (Аман Ядав (Aman Yadav), дослідник комп'ютаційного мислення у сфері освіти, професор Мічиганського державного університету (Michigan State University), 2014).

Вищезгадані автори вважають, що комп'ютаційне мислення – це когнітивний процес, а діяльність, заснована на комп'ютаційному мисленні, по суті призначена для вдосконалення когнітивних навичок та підтримки процесу навчання.

К. Бреннан (K. Brennan) та М. Реснік (M. Resnick) наголошують на ролі метапізнання (metacognition) – «мислення про мислення» (“thinking about thinking”) у процесі здійснення комп'ютаційного мислення [20]. Марсель Вінмен (Marcel Veenman) і Анке Брідвельд (Anneke Breedveld) стверджують, що метапізнання стосується знань та навичок організації, управління та контролю власних процесів мислення, діяльності і навчання. Під метакогнітивними вміннями вони розуміють орієнтацію (установку) на

виконання завдання (що я повинен зробити?), постановку цілей (чого я повинен досягти?), планування (як мені досягти цієї мети?), систематичний підхід (крок за кроком – step by step), моніторинг під час виконання завдання (чи я не помиляюсь, чи я все правильно розумію?), оцінювання результатів (чи знайдено правильну відповідь?) і рефлексію (чого мене навчить ця ситуація?) [32].

У 2019 році Ясмін Алсоп (Yasemin Allsop) запропонувала наступне трактування: «комп'ютаційне мислення – когнітивний процес, керований метакогнітивними діями, що передбачає застосування ряду комп'ютаційних понять (концептів) та дій (behaviours), і націлений на вирішення проблем, що піддаються автоматизації» [33].

На нашу думку, визначення Синтії Селбі (C. Selby) і Джона Волларда (J. Wollard) є найбільш вичерпним: «комп'ютаційне мислення – це розумова діяльність, спрямована на вирішення проблем, краще розуміння ситуацій, вираження якостей через систематичне застосування абстракції, декомпозиції, створення алгоритмів, узагальнення та оцінювання в процесі продукування автоматизованих рішень, які можуть бути реалізовані за допомогою цифрового або людського комп'ютаційного (обчислювального) пристрою» [34].

Є. К. Хеннер зазначає, що в педагогічній літературі описується ряд характеристик особистості, утворених поєднанням родового поняття «алгоритмічний», «логічний», «системний», «комп'ютерний», «інформаційний», «цифровий» із деякою якістю з переліку «грамотність», «культура», «компетентність», «мислення». На думку автора, поняття «комп'ютаційне мислення» не зводиться до жодного з поєднань. Перш за все, навіть за формальними ознаками, зі стилем мислення не можуть конкурувати ні «грамотність», ні «культура», ні «компетентність». У дослідженнях, присвячених комп'ютаційному мисленню, не раз підкреслювалося, що його не слід ототожнювати ні з алгоритмічним і / або математичним мисленням, ні з комп'ютерною грамотністю, ні з інформаційною компетентністю. Алгоритмічне, логічне, системне та інформаційне мислення, перетинаючись із комп'ютаційним мисленням, не вичерпують його [12].

Лу (Lu J. J.) і Флетчер (Fletcher G. H. L.) пояснили, що відмінністю комп'ютаційного мислення від інших видів мислення є вміння представити інформацію у вигляді, зручному для автоматизації інформації, необхідної комп'ютерним системам для ефективного виконання повторюваних завдань [35]. Це підкреслює зв'язок між комп'ютаційним мисленням та штучним інтелектом (Artificial Intelligence). Штучний інтелект можна визначити як «здатність комп'ютерних систем вчитися, мислити та виконувати завдання, які потребують складного процесу прийняття рішень» [36]. Основою автоматизації є алгоритми та абстракції, що також є ключовими елементами комп'ютаційного мислення [27].

Міжнародна асоціація розвитку інформаційних технологій в освіті (International Society for Technology in Education – ISTE) та Асоціація вчителів інформатики (Computer Science Teachers Association – CSTA) надали операційне визначення комп'ютаційного мислення для 12-річної середньої освіти (Operational Definition of Computational Thinking for K–12 Education) [37]. Це означення забезпечує певні рамки і єдине тлумачення поняття для шкільних учителів: комп'ютаційне мислення – це процес вирішення проблем, який містить такі характеристики (але не обмежується ними):

- формулювання проблем у такий спосіб, щоб дозволити використовувати комп'ютер та інші інструменти для їх вирішення;
- логічна організація і аналіз даних;
- подання даних через абстракції, такі як моделі й імітації;
- передбачення та здійснення автоматизації рішення за допомогою алгоритмічного мислення (складання серії впорядкованих кроків);

- виявлення, аналіз і реалізація можливих рішень з метою досягнення найбільш ефективної комбінації кроків і ресурсів;
- узагальнення і перенесення процесу вирішення певної проблеми на процес виконання широкого кола завдань.

Експерти у сфері комп'ютаційного мислення виділяють різні компоненти цього феномена. Ми розглянемо головні з них [26], [27], [30]:

- Абстрагування (abstraction) спрощує процес обмірковування проблеми шляхом зменшення непотрібних деталей та кількості змінних, тому призводить до більш простого її вирішення.
- Декомпозиція (decomposition) розбиває проблему на більш дрібні та зрозумілі складові («розділай та володарюй»).
- Розпізнавання шаблонів (pattern recognition) або пошук збігів між проблемами та відповідно схожих рішень.
- Створення алгоритму (algorithm design) – це процес розробки схеми впорядкованих кроків, за якими можна вирішити всі складові проблеми, необхідні для вирішення вихідної проблеми.
- Автоматизація (automation) – це конфігурація сформованих алгоритмів, що може бути застосована комп'ютером чи іншими технологічними ресурсами для ефективного вирішення проблем.
- Узагальнення (generalisation) – це процес адаптації сформульованих рішень або алгоритмів до різних проблем, навіть якщо задіяні різні змінні.

Гровер (Grover) і Пі (Pea) прагнули дослідити різні визначення комп'ютаційного мислення і дійшли висновку, що є кілька складових цього феномена, які об'єднують різні трактування, а саме: абстракції та узагальнення моделей; систематична обробка інформації; системи умовних позначень та графічних зображень даних; алгоритми; управління, контроль та розбиття на складові; ітеративне, рекурсивне та паралельне мислення; умовна логіка; ефективність; програмні обмеження; пошук та виправлення помилок [38].

3. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Отже, поняття “computational thinking” («комп'ютаційне мислення») пройшло досить довгий шлях свого становлення та розвитку. Важливими історичними передумовами та чинниками його виникнення ми вважаємо:

- появу та розповсюдження на широкий загал мікропроцесорних комп'ютерів [17];
- відокремлення дисциплін сфери комп'ютингу та їх перетворення на самодостатні дисципліни [17];
- еволюцію способів мислення та дослідження з питань освіти у сфері комп'ютингу [16];
- виникнення освітніх мов програмування [11];
- появу комп'ютаційної науки [16].

Ми виділяємо три періоди історичного розвитку поняття комп'ютаційного мислення:

- ✓ Кінець 1950-х – початок 1970-х років;

Для цього періоду характерні такі риси: дисципліни сфери комп'ютингу починають своє відокремлення та перетворення на окремі дисципліни; алгоритмічне мислення вважається «універсальним інтелектуальним знаряддям» (“universal mental tools”) та дисциплінарною ідентичністю сфери комп'ютингу [6], [7], [8], [9], [10];

починають з'являтися освітні мови програмування; незначний вплив на фактичну реформу освіти, тому що комп'ютери все ще здебільшого застосовуються в науковому та інженерному середовищі та у великих корпораціях.

✓ Середина 1970-х – кінець 1990-х років;

Цей період можна охарактеризувати усвідомленням та визнанням того факту, що комп'ютинг передбачає не лише розробку та аналіз алгоритмів, а й будову моделей та систем, що служать платформою та інфраструктурою для виконання алгоритмів. У 1980 році вперше з'являється термін «комп'ютаційне мислення» [19].

✓ Початок 2000-х – сьогодення.

Всеосяжне розповсюдження інформаційних технологій та їх впровадження в освітню сферу призводить до нових зрушень у процесі розвитку поняття комп'ютаційного мислення.

Огляд праць зарубіжних учених вказав на відсутність чіткого загальноприйнятого визначення поняття “computational thinking”, що зумовлено складною структурою цього феномена. Одні науковці розглядають комп'ютаційне мислення як фундаментальну навичку, котрою повинні оволодіти всі люди, нарівні з читанням, письмом та арифметикою [27], інші не вважають комп'ютаційне мислення унікальною та особливою рисою [28]. Учені пропонують ряд дефініцій:

- процеси мислення, які беруть участь у постановці проблеми і її вирішенні, представляють рішення у формі, що може бути ефективно реалізована за допомогою засобів обробки інформації [27];
- розумова установка на формулювання проблем (задач) у вигляді перетворень певних вхідних даних на вихідні і створення алгоритмів для здійснення цих перетворень [28];
- процес, що навчає людей різних професій використовувати обчислення (computation) для вирішення професійних проблем, досліджувати нові проблеми, які можуть бути успішно вирішені [29];
- процес розпізнавання аспектів обчислень (computation) та застосування інструментів і методів комп'ютерних наук для розуміння природних і штучних систем та процесів [30];
- психічний процес, спрямований на абстрагування проблем та створення автоматизованих рішень [31].

Складовими поняття комп'ютаційного мислення є: абстрагування, декомпозиція, розпізнавання шаблонів, створення алгоритму, автоматизація, узагальнення [26], [27], [30].

Подальше дослідження цієї проблеми ми вбачаємо у визначенні ролі й місця комп'ютаційного мислення серед ключових компетентностей; формуванні й розвитку комп'ютаційного мислення дітей та дорослих людей, зокрема вчителів; уточненні питання оцінювання рівня сформованості та розвитку комп'ютаційного мислення, тому що система ефективного та послідовного оцінювання дасть відповіді на багато питань щодо впровадження цього явища в різних предметних галузях, найкращих педагогічних та дидактичних засобів його формування та розвитку, створення робочих навчальних програм тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] European Commission. (2010, Aug. 26). COM (2010) 245 final/2, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Digital Agenda for Europe. [Електронний ресурс]. Доступно: https://ec.europa.eu/eurostat/cros/system/files/09_Digital%20Agenda.pdf

- [2] European Commission. (2017). G. S. Carretero, R. Vuorikari, and Y. Punie. EUR 28558 EN, DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for Citizens with eight proficiency levels and examples of use. Publications Office of the European Union. [Електронний ресурс]. Доступно: [http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC106281/web-digcomp2.1pdf_\(online\).pdf](http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC106281/web-digcomp2.1pdf_(online).pdf)
- [3] Кабінет Міністрів України. (2019, Верес. 18). № 856, Положення про Міністерство цифрової трансформації України. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/856-2019-%D0%BF>
- [4] Проект Дія: державні послуги онлайн. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://plan.diia.gov.ua/>
- [5] J. Dostál, X. Wang, W. Steingartner, and P. Nuangchalerm, “Digital intelligence – new concept in context of future of school education”, in Proc. 10th International Conf. of Education, Research and Innovation, Seville, Spain, 2017, pp. 3706 – 3712. [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.researchgate.net/publication/321128357_DIGITAL_INTELLIGENCE_-_NEW_CONCEPT_IN_CONTEXT_OF_FUTURE_OF_SCHOOL_EDUCATION/link/5a0ead5aa6fdcc2b5b5e03e2/download
- [6] D. L. Katz, “Conference report on the use of computers in engineering classroom instruction,” Communications of the ACM, vol. 3, no. 10, pp. 522–527, 1960.
- [7] G. E. Forsythe, “The role of numerical analysis in an undergraduate program,” American Mathematical Monthly, vol. 66, no. 8, pp. 651–662, 1959.
- [8] M. Minsky, “Form and content in computer science,” Journal of the ACM, vol. 17, no. 2, pp. 197–215, 1970.
- [9] E. W. Dijkstra, “Programming as a discipline of mathematical nature,” American Mathematical Monthly, vol. 81, no. 6, pp. 608–612, 1974.
- [10] D. E. Knuth, “Computer science and its relation to mathematics,” American Mathematical Monthly, vol. 81, no. Apr.1974, pp. 323–343, 1974.
- [11] Michael Lodi. Introducing Computational Thinking in K-12 Education: Historical, Epistemological, Pedagogical, Cognitive, and Affective Aspects. Computers and Society [cs.CY]. Dipartimento di Informatica - Scienza e Ingegneria, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, 2020. English.
- [12] Е. К. Хеннер, «Вычислительное мышление», Образование и наука, № 2 (131), с. 18 – 33, 2016. [Електронний ресурс]. Доступно: [file:///C:/Users/koshk/Downloads/vychislitelnoemyshlenie%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/koshk/Downloads/vychislitelnoemyshlenie%20(3).pdf)
- [13] О. В. Пасічник, «Розвиток алгоритмічного мислення на уроках інформатики», Комп'ютер у школі та сім'ї, № 7, с. 13 – 18, 2014. [Електронний ресурс]. Доступно: http://nbuv.gov.ua/UJRN/komp_2014_7_5
- [14] Соціальна ініціатива ІТ-школяр. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/news/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8/2018/04/06/Pres-4.pdf>
- [15] М. Г. Коляда, Комп'ютаційна педагогіка. Донецьк, Україна: Ноулідж, Донецьк, від-ня, 2013.
- [16] M. Tedre, and P. J. Denning, “The Long Quest for Computational Thinking”, in Proc. 16th Koli Calling Conf. on Computing Education Research, Koli, Finland, 2016, pp. 120 – 129. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://denninginstitute.com/pjd/PUBS/long-quest-ct.pdf>
- [17] R. Shackelford et al., “Computing Curricula 2005: The Overview Report”, Association for Computing Machinery (ACM), Association for Information Systems (AIS), Computer Society (IEEE-CS), USA, 2005. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/cc2005-march06final.pdf>
- [18] P. J. Denning et al., “Computing as a discipline”, Communications of the ACM, vol. 32, no. 1. pp. 9 – 23, 1989. [Online]. Available: <https://www.cs.auckland.ac.nz/courses/compsci747s2c/lectures/denning-1989.pdf>
- [19] S. Papert, Mindstorms: children, computers, and powerful ideas. New York, USA, Basic Books, Inc., 1980. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://worrydream.com/refs/Papert%20-%20Mindstorms%201st%20ed.pdf>
- [20] K. Brennan, and M. Resnick, “New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking”, in Proc. the Annual Meeting of the American Educational Research Association, Vancouver, Canada, 2012, pp. 1 – 25. [Електронний ресурс]. Доступно: https://web.media.mit.edu/~kbrennan/files/Brennan_Resnick_AERA2012_CT.pdf
- [21] M. R. Benioff, and E. D. Lazowska, “Computational Science: Ensuring America’s Competitiveness”, President’s Information Technology Advisory Committee, Arlington, VA, USA: National Coordination Office for Information Technology Research and Development, 2005. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://vis.cs.brown.edu/docs/pdf/Pitac-2005-CSE.pdf>

- [22] A. B. Shiflet, and G. W. Shiflet, Introduction to Computational Science: Modeling and Simulation for the Sciences, Princeton, New Jersey, USA: Princeton University Press, 2014. [Електронний ресурс]. Доступно: [http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/Shiflet_\(2014\)_-Introductin_to_Computational_Science_Modeling_and_Simulation_for_Sciences_2nd_Edition.pdf](http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/Shiflet_(2014)_-Introductin_to_Computational_Science_Modeling_and_Simulation_for_Sciences_2nd_Edition.pdf)
- [23] Computer Science Curricula 2013: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Science. The Joint Task Force on Computing Curricula Association for Computing Machinery (ACM), IEEE Computer Society, December 20, 2013, 514 p. [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/cs2013_web_final.pdf
- [24] Online Etymology Dictionary. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.etymonline.com/search?q=compute>. Дата звернення: Січень 23, 2020.
- [25] GNU Collaborative International Dictionary of English. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://gcide.gnu.org.ua/?q=computation&define=Define&strategy=>. Дата звернення: Січень 23, 2020.
- [26] I. Horswill, “What is computation?”, XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students, vol. 18, pp. 8 – 14, 2012. doi:10.1145/2090276.2090283. [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.researchgate.net/publication/262402747_What_is_computation. Дата звернення: Січень 23, 2020.
- [27] J. M. Wing, “Computational thinking’s influence on research and education for all”, Italian Journal of Educational Technology, vol. 25, no. 2, pp. 7 – 14, 2017. doi: 10.17471/2499-4324/922. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.cs.cmu.edu/~wing/publications/Wing17.pdf>
- [28] P. J. Denning, “The profession of IT Beyond computational thinking”, Communications of the ACM, vol. 52, no. 6, pp. 28 – 30, 2009. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://denninginstitute.com/pjd/PUBS/CACMcols/cacmJun09.pdf>
- [29] D. Hemmendinger, “A plea for modesty”, ACM Inroads, vol. 1, no. 2, pp. 4-7, 2010. doi: <https://doi.org/10.1145/1805724.1805725>
- [30] S. Furber, “Shut down or restart? The way forward for computing in UK schools”, The Royal Society, London, UK, Tech. Rep. 207043, Jan. 2012. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://royalsociety.org/~media/education/computing-in-schools/2012-01-12-computing-in-schools.pdf>
- [31] A. Yadav, C. Mayfield, N. Zhou, S. Hambruch, and J. T. Korb, “Computational thinking in elementary and secondary teacher education”, ACM Trans. on Comput. Educ., vol. 14, no. 1, 16 p., 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1145/2576872> [Електронний ресурс]. Доступно: https://w3.cs.jmu.edu/mayfiecs/pubs/2014_Yadav_CT.pdf
- [32] M. Veenman, and A. Breedveld, Metacognitive Skills. Talent education Erasmus + Project Toolkit for Teachers – ТЕТТ. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.talenteducation.eu/toolkitforteachers/metacognitalskills/what-are-metacognitive-skills/>
- [33] Y. Allsop, “Assessing computational thinking process using a multiple evaluation approach”, International Journal of Child-Computer Interaction, vol. 19, pp. 30 – 55, 2019. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212868918300588#>
- [34] C. Selby, and J. Woollard, “Refining an understanding of computational thinking”, University of Southampton, 2014. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://eprints.soton.ac.uk/372410/1/372410UnderstdCT.pdf>
- [35] J. J. Lu, and G. H. L. Fletcher, “Thinking about computational thinking”, in Proc. 40th ACM Technical Symposium on Computer Science Education, New York, USA, 2009, pp. 26 – 264. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://people.cs.vt.edu/~kafura/CS6604/Papers/Thinking-About-CT.pdf>
- [36] G. Gadanidis, “Artificial intelligence, computational thinking, and mathematics education”, Int. J. Inf. Learn. Technol, vol. 34, no. 2, pp. 133 – 139, 2017. [Електронний ресурс]. Доступно: https://pdfs.semanticscholar.org/ce76/7defec3276b005146c80131ea5b6b9100bf2.pdf?_ga=2.41823138.1662174776.1564325700-763470621.1563814281
- [37] International Society for Technology in Education (ISTE) and the Computer Science Teachers Association (CSTA). Operational Definition of Computational Thinking for K–12 Education. Supported by the National Science Foundation under Grant No. CNS-1030054, 2011. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.iste.org/docs/ct-documents/computational-thinking-operational-definitionflyer.pdf>
- [38] S. Grover, R. Pea, “Computational Thinking in K–12: A Review of the State of the Field”, Educational Researcher, vol. 42, pp. 38 – 43, 2013. doi:10.3102/0013189X12463051. [Електронний ресурс]. Доступно: https://www.researchgate.net/publication/258134754_Computational_Thinking_in_K-12_A_Review_of_the_State_of_the_Field

Матеріал надійшов до редакції 06.02.2020р.

ЭТИМОЛОГИЯ, ГЕНЕЗИС И СУЩНОСТЬ ПОНЯТИЯ "КОМПЬЮТАЦИОННОЕ МЫШЛЕНИЕ"

Тихонова Татьяна Валентиновна

доктор педагогических наук, доцент,

заведующая кафедрой педагогики, психологии и менеджмента образования

Николаевский областной институт последипломного педагогического образования, г. Николаев, Украина

ORCID 0000-0002-5276-3478

tetiana.tykhonova@moippo.mk.ua

Кошкина Анна Леонидовна

преподаватель кафедры современных языков

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев, Украина

ORCID 0000-0001-6018-7397

forget.me.not@ukr.net

Аннотация. В статье представлены исторические факторы и предпосылки возникновения "computational thinking" («компьютерного мышления»), а именно: появление и распространение микропроцессорных компьютеров; отделение дисциплин сферы компьютеринга (computing) и их преобразование в самостоятельные дисциплины; эволюция способов мышления и исследования по вопросам образования в области компьютеринга; возникновение и развитие образовательных языков программирования; появление компьютерной науки (computational science). Также предложена периодизация исторического развития понятия компьютерного мышления и дисциплин сферы компьютеринга. Отмечено, что предтечей компьютерного мышления было алгоритмическое мышление, которое ученые рассматривали как «универсальное интеллектуальное орудие» ("universal mental tool"). Главной идеей многих научных исследований прошлых лет было то, что алгоритмическое мышление могло бы «научить» человеческий мозг лучше решать проблемы во всех сферах жизни. Авторами уточнено понятие «компьютеринг», «компьютерная наука». Исследована этимология понятия «компьютерное мышление». На основе анализа публикаций зарубежных ученых описаны различные трактовки сущности понятия «компьютерное мышление» и его составляющие. Отмечено отсутствие четкого определения компьютерного мышления. Подчеркнуто, что сущность понятия компьютерного мышления находится на пересечении понятий различных наук: компьютерных, математических, инженерных, педагогических, психологических и других. Разъяснено, что не следует отождествлять компьютерное мышление ни с алгоритмическим и/или математическим мышлением, ни с компьютерной грамотностью, ни с информационной компетентностью. Главным отличием компьютерного мышления от других видов мышления является умение представить информацию в виде, удобном для автоматизации информации, необходимой компьютерным системам для эффективного выполнения повторяющихся задач. Это подчеркивает связь между компьютерным мышлением и искусственным интеллектом (Artificial Intelligence). Сделан вывод, что компьютерное мышление имеет сложную разветвленную структуру и является универсальным умением XXI века, необходимым для решения различных проблем в современном быстро меняющемся цифровом мире.

Ключевые слова: компьютерное мышление; алгоритмическое мышление; универсальное интеллектуальное орудие; компьютеринг; компьютерная наука; цифровой интеллект; цифровая компетентность.

ETYMOLOGY, GENESIS AND ESSENCE OF THE CONCEPT "COMPUTATIONAL THINKING"

Tetiana V. Tykhonova

Doctor of Pedagogic Sciences, Head of the Department of Pedagogy, Psychology and Education Management

Mykolaiv Regional In-Service Teacher Training Institute, Mykolaiv, Ukraine

ORCID ID 0000-0002-5276-3478

tetiana.tykhonova@moippo.mk.ua

Hanna L. Koshkina

English teacher at the Modern Languages Department

National University of Shipbuilding after admiral Makarov, Mykolaiv, Ukraine

ORCID ID 0000-0001-6018-7397

forget.me.not@ukr.net

Abstract. Historical factors and preconditions for the emergence and development of “computational thinking”, such as: appearance and distribution of microprocessor computers to the general public; separation of computing disciplines and their transformation into self-sufficient ones; the evolution of ways of thinking and research on computer education; emergence and development of educational programming languages; the emergence of computational science are presented in this article. The periodization of the historical development of the concept of “computational thinking” and disciplines in the field of computing is also proposed. Algorithmic thinking was considered to be the forerunner of computational thinking and a “universal mental tool”. The main idea of scientific research was that algorithmic thinking could “teach” the human brain to be a better problem solver in all fields of life. The concepts of “computing” and “computational science” are clarified. The etymology of the concept “computational thinking” is studied. Based on the analysis of foreign scientists’ publications, various approaches to the concept of “computational thinking” and its components are described. There is no clear-cut definition of computational thinking. The concepts of computational thinking are closely interconnected with the concepts of different sciences: computer, mathematical, engineering, pedagogical, psychological and others. Computational thinking should not be confused with algorithmic and/or mathematical thinking, computer literacy, or informational competence. The main difference between computational thinking and other types of thinking is the ability to present information in the form convenient for automation of information, that is necessary for efficient performance of repetitive tasks by computer systems. This emphasizes the relationship between computational thinking (CT) and Artificial Intelligence (AI). In conclusion, computational thinking is a universal 21st century skill having a complex structure and necessary for solving various problems in the modern fast-growing digital world.

Keywords: computational thinking; algorithmic thinking; universal mental tool; computing; computational science; digitalization; digital intelligence; digital competence.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- [1] European Commission. (2010, Aug. 26). *COM (2010) 245 final/2, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Digital Agenda for Europe.* [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/cros/system/files/09_Digital%20Agenda.pdf (in English)
- [2] European Commission. (2017). G. S. Carretero, R. Vuorikari, and Y. Punie. *EUR 28558 EN, DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for Citizens with eight proficiency levels and examples of use.* Publications Office of the European Union. [Online]. Available: [http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC106281/web-digcomp2.1pdf_\(online\).pdf](http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC106281/web-digcomp2.1pdf_(online).pdf) (in English)
- [3] Cabinet of Ministers of Ukraine. (2019, Sept. 18). № 856, *Regulation on the Ministry of Digital Transformation of Ukraine.* [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/856-2019-%D0%BF> (in Ukrainian)
- [4] Project “Action”: Government Online Services. [Online]. Available: <https://plan.diia.gov.ua/> (in Ukrainian)
- [5] J. Dostál, X. Wang, W. Steingartner, and P. Nuangchalerm, “Digital intelligence – new concept in context of future of school education”, in *Proc. 10th International Conf. of Education, Research and Innovation*, Seville, Spain, 2017, pp. 3706 – 3712. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/321128357_DIGITAL_INTELLIGENCE_-_NEW_CONCEPT_IN_CONTEXT_OF_FUTURE_OF_SCHOOL_EDUCATION/link/5a0ead5aa6fdcc2b5b5e03e2/download (in English)
- [6] D. L. Katz, “Conference report on the use of computers in engineering classroom instruction,” *Communications of the ACM*, vol. 3, no. 10, pp. 522–527, 1960. (in English)
- [7] G. E. Forsythe, “The role of numerical analysis in an undergraduate program,” *The American Mathematical Monthly*, vol. 66, no. 8, pp. 651–662, 1959. (in English)

- [8] M. Minsky, "Form and content in computer science," *Journal of the ACM*, vol. 17, no. 2, pp. 197–215, 1970. (in English)
- [9] E. W. Dijkstra, "Programming as a discipline of mathematical nature," *American Mathematical Monthly*, vol. 81, no. 6, pp. 608–612, 1974. (in English)
- [10] D. E. Knuth, "Computer science and its relation to mathematics," *American Mathematical Monthly*, vol. 81, no. Apr.1974, pp. 323–343, 1974. (in English)
- [11] Michael Lodi. *Introducing Computational Thinking in K-12 Education: Historical, Epistemological, Pedagogical, Cognitive, and Affective Aspects*. Computers and Society [cs.CY]. Dipartimento di Informatica - Scienza e Ingegneria, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, 2020. [Online]. Available: <https://hal.inria.fr/tel-02981951/document> (in English)
- [12] E. K. Henner, "Computational thinking", *Obrazovanie i nauka*, no. 2 (131), pp. 18 – 33, 2016. [Online]. Available: [file:///C:/Users/koshk/Downloads/vychislitelnoe-myshlenie%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/koshk/Downloads/vychislitelnoe-myshlenie%20(3).pdf) (in Russian)
- [13] O. V. Pasichnyk, "Developing Algorithmic thinking in Computer Science lessons", *Kompiuter u shkoli ta simi*. no. 7, pp. 13 – 18, 2014. [Online]. Available: http://nbuv.gov.ua/UJRN/komp_2014_7_5 (in Ukrainian)
- [14] Social Initiative IT schoolboy, 2018. [Online]. Available: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/news/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B8/2018/04/06/Pres-4.pdf> (in Ukrainian)
- [15] M. G. Koliada, *Computational pedagogics*. Donetsk, Ukraine: Noulidzh, Donets. vid-nia, 2013. (in Ukrainian)
- [16] M. Tedre, and P. J. Denning, "The Long Quest for Computational Thinking", in Proc. 16th Koli Calling Conf. on Computing Education Research, Koli, Finland, 2016, pp. 120 – 129. [Online]. Available: <http://denninginstitute.com/pjd/PUBS/long-quest-ct.pdf> (in English)
- [17] R. Shackelford et al., "Computing Curricula 2005: The Overview Report", Association for Computing Machinery (ACM), Association for Information Systems (AIS), Computer Society (IEEE-CS), USA, 2005. [Online]. Available: <https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/curricula-recommendations/cc2005-march06final.pdf> (in English)
- [18] P. J. Denning et al., "Computing as a discipline", *Communications of the ACM*, vol. 32, no. 1. pp. 9 – 23, 1989. [Online]. Available: <https://www.cs.auckland.ac.nz/courses/compsci747s2c/lectures/denning-1989.pdf> (in English)
- [19] S. Papert, *Mindstorms: children, computers, and powerful ideas*. New York, USA, Basic Books, Inc., 1980. [Online]. Available: <http://worrydream.com/refs/Papert%20-%20Mindstorms%201st%20ed.pdf> (in English)
- [20] K. Brennan, and M. Resnick, "New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking", in Proc. the Annual Meeting of the American Educational Research Association, Vancouver, Canada, 2012, pp. 1 – 25. [Online]. Available: https://web.media.mit.edu/~kbrennan/files/Brennan_Resnick_AERA2012_CT.pdf (in English)
- [21] M. R. Benioff, and E. D. Lazowska, "Computational Science: Ensuring America's Competitiveness", President's Information Technology Advisory Committee, Arlington, VA, USA: National Coordination Office for Information Technology Research and Development, 2005. [Online]. Available: <http://vis.cs.brown.edu/docs/pdf/Pitac-2005-CSE.pdf> (in English)
- [22] A. B. Shiflet, and G. W. Shiflet, *Introduction to Computational Science: Modeling and Simulation for the Sciences*, Princeton, New Jersey, USA: Princeton University Press, 2014. [Online]. Available: [http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/Shiflet_\(2014\)_-_Introductin_to_Computational_Science,_Modeling_and_Simlation_for_Sciences_2nd_Edition.pdf](http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/Shiflet_(2014)_-_Introductin_to_Computational_Science,_Modeling_and_Simlation_for_Sciences_2nd_Edition.pdf) (in English)
- [23] Computer Science Curricula 2013: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Science. The Joint Task Force on Computing Curricula Association for Computing Machinery (ACM), IEEE Computer Society, December 20, 2013, 514 p. [Online]. Available: https://www.acm.org/binaries/content/assets/education/cs2013_web_final.pdf (in English)
- [24] Online Etymology Dictionary. [Online]. Available: <https://www.etymonline.com/search?q=compute>. Accessed on: January 23, 2020. (in English)
- [25] GNU Collaborative International Dictionary of English. [Online]. Available: <http://gcide.gnu.org.ua/?q=computation&define=Define&strategy=>. Accessed on: January 23, 2020. (in English)
- [26] I. Horswill, "What is computation?", *XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students*, vol. 18, pp. 8 – 14, 2012. doi:10.1145/2090276.2090283. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/262402747_What_is_computation. (in English)
- [27] J. M. Wing, "Computational thinking's influence on research and education for all", *Italian Journal of Educational Technology*, vol. 25, no. 2, pp. 7 – 14, 2017. doi: 10.17471/2499-4324/922. (in English)

- [28] P. J. Denning, “The profession of IT Beyond computational thinking”, *Communications of the ACM*, vol. 52, no. 6, pp. 28 – 30, 2009. [Online]. Available: <http://denninginstitute.com/pjd/PUBS/CACMcols/cacmJun09.pdf>
- [29] D. Hemmendinger, “A plea for modesty”, *ACM Inroads*, vol. 1, no. 2, pp. 4-7, 2010. doi: <https://doi.org/10.1145/1805724.1805725> (in English)
- [30] S. Furber, “Shut down or restart? The way forward for computing in UK schools”, The Royal Society, London, UK, Tech. Rep. 207043, Jan. 2012. [Online]. Available: <https://royalsociety.org/~media/education/computing-in-schools/2012-01-12-computing-in-schools.pdf> (in English)
- [31] A. Yadav, C. Mayfield, N. Zhou, S. Hambrusch, and J. T. Korb, “Computational thinking in elementary and secondary teacher education”, *ACM Trans. on Comput. Educ.*, vol. 14, no. 1, 16 p., 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1145/2576872> (in English)
- [32] M. Veenman, and A. Breedveld, Metacognitive Skills. Talent education Erasmus + Project Toolkit for Teachers – TETT [Online]. Available: <http://www.talenteducation.eu/toolkitforteachers/metacognitiveskills/what-are-metacognitive-skills/> (in English)
- [33] Y. Allsop, “Assessing computational thinking process using a multiple evaluation approach”, *International Journal of Child-Computer Interaction*, vol. 19, pp. 30 – 55, 2019. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212868918300588#> (in English)
- [34] C. Selby, and J. Woollard, “Refining an understanding of computational thinking”, University of Southampton, 2014. [Online]. Available: <https://eprints.soton.ac.uk/372410/1/372410UnderstdCT.pdf> (in English)
- [35] J. J. Lu, and G. H. L. Fletcher, “Thinking about computational thinking”, in *Proc. 40th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, New York, USA, 2009, pp. 26 – 264. [Online]. Available: <http://people.cs.vt.edu/~kafura/CS6604/Papers/Thinking-About-CT.pdf> (in English)
- [36] G. Gadanidis, “Artificial intelligence, computational thinking, and mathematics education”, *Int. J. Inf. Learn. Technol.*, vol. 34, no. 2, pp. 133 – 139, 2017. [Online]. Available: https://pdfs.semanticscholar.org/ce76/7defec3276b005146c80131ea5b6b9100bf2.pdf?_ga=2.41823138.1662174776.1564325700-763470621.1563814281 (in English)
- [37] International Society for Technology in Education (ISTE) and the Computer Science Teachers Association (CSTA). Operational Definition of Computational Thinking for K–12 Education. Supported by the National Science Foundation under Grant No. CNS-1030054, 2011. [Online]. Available: <http://www.iste.org/docs/ct-documents/computational-thinking-operational-definitionflyer.pdf> (in English)
- [38] S. Grover, R. Pea, “Computational Thinking in K–12: A Review of the State of the Field”, *Educational Researcher*, vol. 42, pp. 38 – 43, 2013. doi:10.3102/0013189X12463051. (in English)

