

УДК372.851:004

Олексій Воронкін

## ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ ГРАФІЧНИХ КАЛЬКУЛЯТОРІВ У НАВЧАННІ МАТЕМАТИКИ В ЗАКЛАДАХ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ

Статтю присвячено використанню графічних калькуляторів у закладах загальної середньої освіти. Вивчено міжнародний досвід застосування калькуляторів у стандартизованих тестах з математики: SAT, PSAT/NMSQT, ACT, AP, IB, Bagrut. На прикладі моделі калькулятора Texas Instruments TI-89 Titanium представлено розв'язання деяких фізико-математичних задач. Акцентовано увагу на можливості розширення функціональності графічних калькуляторів у складі мобільних STEM-лабораторій, що робить їх привабливими у практичному застосуванні на заняттях з фізики та інформатики. Робиться висновок, що масове впровадження графічних калькуляторів потребує змін як у педагогічній діяльності, так і в змісті навчальних програм, призначених для учнів закладів загальної середньої освіти України.

**Ключові слова:** інформаційні технології, графічний калькулятор, математика, STEM-освіта.

**Постановка проблеми.** Тривалий час курс математики в українських закладах загальної середньої освіти викладався з використанням шкільної дошки, крейди, олівців, зошитів, демонстраційних плакатів. З огляду на це намітилася певна традиція до алгоритмічного методу навчання. Принципи і стандарти шкільної математики, розроблені Американською національною радою вчителів математики (National Council of Teachers of Mathematics), заохочують до використання на заняттях інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) [1], що впливає на активізацію пізнавальної діяльності учнів [2, с. 13]. Водночас педагогічним працівникам стає все складніше контролювати використання учнями смартфонів, планшетів, розумних годинників, музичних плеєрів та інших пристроїв. Так, під час самостійних і контрольних робіт діти можуть пересилати одне одному фотографії з розв'язками задач, обмінюватися думками в чатах, застосовувати сторонні додатки, що дають змогу покроково візуалізувати розв'язок задач, розпізнаючи рукописний текст і формули (наприклад, Mathpix). Неперервне підвищення якості швидкісного мобільного доступу до послуг мережі Інтернет призводить до перетворення гаджетів на потен-

ційний інструмент для списування й обману вчителя [3], що, своєю чергою, актуалізує питання академічної доброчесності.

Застарілі авторитарні методики навчання природничо-математичних дисциплін також перестають працювати — спочатку відштовхують дітей від педагога, а з часом призводять до формування стійкого негативного ставлення до предмета. Так, 2018 р. 48% учасників зовнішнього незалежного оцінювання (ЗНО) з математики не розв'язали задачу на дії з дробами, що відповідає програмі 8 класу.

Отже, методика навчання математики в закладах загальної середньої освіти України є застарілою. Водночас при модернізації прийомів, методів і технологій навчання математики особливої актуальності набуває питання ефективності інтеграції дидактичних, апаратних і програмних засобів [4; 5].

**Метою статті** є розкриття перспективних можливостей застосування графічних калькуляторів як елементу ІКТ для навчання математики в закладах загальної середньої освіти України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Графічний калькулятор — це мобільний обчислювальний пристрій, призначений для розв'язання задач і опрацювання математичних моделей різного рівня складності. Калькулятори цього

типу наділені обчислювальними, символічними, графічними та програмними функціями [6]. Їх графічний екран дає змогу відображати одночасно кілька рядків обчислень.

Графічні калькулятори з'явилися в середині 1980-х рр. [7], й одразу зародилося припущення, що їх впровадження в навчальний процес сприятиме зменшенню рутинних обчислень [8] та підвищенню ефективності навчання під час проєктної діяльності учнів. Уже на початку 1990-х чимало дослідників дійшли висновку, що використання калькуляторів на заняттях з математики здатне знизити когнітивне навантаження [9; 10; 11].

Теорію когнітивного навантаження [12] було розроблено Дж. Свеллером 1988 р. на основі моделі пам'яті Р. Аткинсона і Р. Шифріна [13], що передбачає обмеженість пропускну здатності «робочої пам'яті» [14; 15; 16]. Крім того, грамотне впровадження міждисциплінарного підходу до навчання математики має потужний потенціал для розвитку творчого мислення школяра [17].

У роботі [4] продемонстровано, що інтеграція технологій у навчальні програми з математики є дуже потрібним завданням сьогодення для розробників навчальних програм, методистів у всьому світі. Запровадження міждисциплінарного підходу вимагає подолання технічної і методичної складності, що виникає через нерозуміння педагогами концепції STEM/STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics), а також незнання принципів роботи як графічних калькуляторів, так і систем комп'ютерної алгебри, що, своєю чергою, призводить до спроб уникати їх використання [18].

**Виклад основного матеріалу.** Ми зупиняємо свою увагу на графічних калькуляторах з огляду на їх певні переваги над смартфонами, ноутбукми та іншими гаджетами. У багатьох графічних калькуляторів відсутня повноцінна буквенна клавіатура, підтримка бездротового обміну даними і доступ до мережі Інтернет. Їм властиве низьке енергоспоживання (довготривалий час роботи від одного комплексу елементів живлення), більша мобільність і компактність. Незважаючи на це, в українських школах досі відсутня широка практика застосування графічних калькуляторів на уроках математики і фізики. Деякі педагоги переконані, що роботу з такими калькуляторами доцільно впроваджувати тільки після того, як учні освоють певні математичні процедури вручну [19], інші ж категорично їх забороняють.

На початку 2018/2019 навчального року з метою вивчення інтересів сучасної молоді ми провели анкетування на тему «Використання гаджетів і калькуляторів на уроках математики». У ньому взяло участь 39 студентів, що вступили на I курс ОКЗ «Северодонецький коледж культури і мистецтв імені Сергія Прокоф'єва». Усі вони випускники 9-х класів закладів середньої освіти Луганської області (Северодонецьк, Лисичанськ, Рубіжне, Новоайдар, Старобільськ, Комишуваха, Станично-Луганський район, Троїцьке, Новопсков, *Гречишкіне*, Можняківка). Під час навчання у школі 89,7% опитаних приносили з собою на уроки гаджети, 46,2% іноді використовували їх як інструмент обману. Особливістю отриманих результатів є те, що 71,8% опитаних не знають, що таке науковий калькулятор. Переважно учні не розуміють відмінностей між різними типами калькуляторів, у тому числі між бухгалтерським, науковим (інженерним) і графічним калькулятором.

Графічні калькулятори виробляють відомі фірми, як-от «Texas Instruments», «Hewlett Packard» і «Casio» [20; 21]. Показово, що їх дозволено застосовувати в більш ніж 60 стандартизованих тестах по всьому світу. До того ж забороняється використовувати будь-які інші гаджети, які мають програмну функцію калькулятора. Графічні калькулятори, як правило, перевіряють на початку тестування, оскільки певні додаткові програми не мають бути на них встановлені. Стисло зупинимось на загальних рекомендаціях до використання калькуляторів у загальновідомих стандартизованих тестах.

SAT (Scholastic Aptitude Test, Scholastic Assessment Test) є стандартизованим тестом для вступу до коледжів у США, вперше проведений 1926 р. [22]. Розробляє SAT неприбуткова організація — Рада Коледжів. Тест охоплює три секції: письмо, читання і математику. До секції математики належать два типи завдань: де заборонено користуватися калькулятором; де дозволено вдаватися до його допомоги. Рекомендовано використовувати будь-які наукові калькулятори і більшість графічних [23].

PSAT/NMSQT (Preliminary Scholastic Aptitude Test/National Merit Scholarship Qualifying Test) є стандартизованим академічним тестом, призначеним для підготовки старшокласників до тестів SAT або ACT [24]. Він також функціонує як тест, що допомагає американським школярам брати участь у програмі стипендій National Merit

Scholarships та деяких інших стипендіях [25]. PSAT/NMSQT також охоплює письмо, читання і математику. Секція математики складається з двох типів завдань. Перша розв'язується без калькулятора. Друга спрямована на перевірку знань з алгебри, геометрії, теорії ймовірності, статистики та інших тем. У цій частині тесту випробуваний має зосередитися на складному моделюванні й аналізі, де використання калькулятора дає змогу заощадити час [26].

ACT (American College Testing) — ще один стандартизований тест для вступу до коледжів та університетів США, його результати також враховуються при переведенні з одного навчального закладу в інший [27]. Вперше був проведений 1959 р. як конкурентна альтернатива SAT. Тест містить 4 основні секції (англійська мова, математика, читання, наукове мислення) і, додатково, письмо. Під час математичної секції дозволяється використовувати калькулятори, крім заборонених моделей [28].

Advanced Placement (AP) — це програма поглибленого вивчення предмета, спрямована на підготовку учнів старших класів до вступу в коледжі та університети США і Канади. Починаючи з 2008 р., програма AP охоплює 37 курсів і дисциплін, багато з яких вивчаються на першому курсі навчання в закладах вищої освіти. Тож успішне складання предмета враховується не тільки під час вступу, а й у майбутньому — як кредитний бал для отримання диплома про вищу освіту [29]. Деякі моделі графічних калькуляторів можуть використовуватися на всіх або окремих частинах іспитів з біології, диференціального й інтегрального числення, статистики, хімії, фізики [30]. Заборонено застосовувати калькулятори з клавіатурою QWERTY.

Фонд IB (International Baccalaureate) було засновано наприкінці 1960-х рр. у Швейцарії з метою створення міжнародних освітніх програм, орієнтованих на учнів середньої школи, диплом чи сертифікат про успішне завершення яких визнавався б закладами вищої освіти будь-якої країни на рівні національних шкільних атестатів [31]. Інформацію про рекомендовані і заборонені моделі калькуляторів на випускних іспитах можна знайти на офіційному сайті IB (<https://www.ibo.org>).

У Шотландії і Нідерландах графічні калькулятори дозволено використовувати під час математичних іспитів. У Західній Австралії вступні іспити з математики включають розділ, який також передбачає наявність в учня калькулятора, у тому числі з підтримкою системи комп'ютерної алгебри [32].

Водночас не всі країни поділяють таку політику. В Ізраїлі графічні калькулятори заборонено для використання на іспиті «Bagrut» (еквівалент SAT) [32].

Під час тестування з математики, що проводиться в закладах середньої освіти Російської Федерації в рамках Єдиного державного екзамену, будь-який калькулятор використовувати заборонено. Хоча на тестуванні з географії, хімії та фізики учням дозволяється мати з собою непрограмовані калькулятори з можливістю обчислення тригонометричних функцій [33].

Випускникам закладів загальної середньої освіти України під час зовнішнього незалежного оцінювання (ЗНО) з математики, фізики, хімії та інших предметів заборонено користуватися навіть простим бухгалтерським калькулятором [34].

Як приклад, у табл. 1 порівнюється рекомендований дозвіл на використання в тестах SAT, AP, PSAT/NMSQT, ACT, IB, Bagrut, ЗНО найпоширеніших моделей калькуляторів фірми «Texas Instruments» [21].

Таблиця 1

Порівняння дозволу на використання найпоширеніших моделей графічних калькуляторів «Texas Instruments» у деяких стандартизованих тестах

Тест*	TI-Nspire CX	TI-Nspire withtouchpad	TI-84 Plus, TI-84 Plus CE	TI-83 Plus	TI-Nspire CX CAS	TI-Nspire CAS withtouchpad	TI-89 Titanium
SAT	+	+	+	+	+	+	+
AP	+	+	+	+	+	+	+
PSAT/NMSQT	+	+	+	+	+	+	+
ACT	+	+	+	+	–	–	–
IB	+	+	+	+	–	–	–
Bagrut	–	–	–	–	–	–	–
ЗНО	–	–	–	–	–	–	–

\* Примітка: дозволено (+), заборонено (–)

У нас під рукою графічний калькулятор TI-89 Titanium [35], тому далі сфокусуємося на прикладах застосування саме цієї моделі. Випуск калькулятора було розпочато 2004 р. За допомогою TI-89 можемо виконувати практично всі потрібні нам розрахунки: арифметичні дії, операції з дійсними і комплексними числами, розв'язувати системи лінійних, нелінійних і диференціальних рівнянь, операції з векторами, обчислювати похідні та інтеграли, розкласти функції в ряд Тейлора тощо [36]. Калькулятор має вбудовану систему символічної математики і вбудовану мову програмування високого рівня. Графічні можливості цієї моделі дають змогу будувати графіки функцій у прямокутних і полярних координатах, графіки параметричних функцій, графіки тривимірних поверхонь і фігур, а також анімувати їх [37], знаходити максимуми і мінімуми, точки перетину графіка функції з осями координат, точки перетину декількох графіків [38, с. 73]. За допомогою USB-інтерфейсу графічний калькулятор може з'єднуватися з комп'ютером, що дає змогу встановлювати на нього додаткові програмні пакети.

**Приклад 1.** За допомогою калькулятора TI-89 Titanium побудуйте графік функції  $y = x^2 + 4x$ . При якому значенні  $x$  значення даної функції найменше?

Відкриваємо редактор функцій  $Y = Editor$ , де вводимо задану функцію  $y_1 = x^2 + 4x$ . За допомогою команди  $ZoomStd$  увімкнемо стандартне налаштування параметрів графіка [35], для чого натиснемо кнопку  $|F2|$  ( $Zoom$ ). Спостерігаємо процес побудови графіка функції. Для перемі-

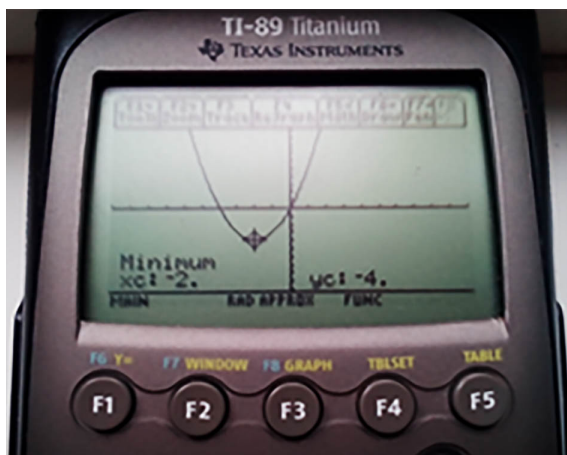
щення курсора вздовж графіка слід увімкнути режим трасування (кнопка  $|F3|$ ). У вікні виведення математичних операторів і функцій  $Math |F5|$  виберемо опцію  $Minimum$ . Конкретизуємо деякий окіл точки мінімуму, для чого за допомогою курсора позначимо на графіку довільну точку від неї ліворуч, а потім праворуч. Калькулятор відобразить координати шуканої точки:  $x_c = -2$ ;  $y_c = -4$  (рис. 1, а).

**Приклад 2.** Використовуючи калькулятор моделі TI-89 Titanium, розв'яжіть систему рівнянь графічним способом:  $x + y = 6$ ;  $2x - 3y = 6$ .

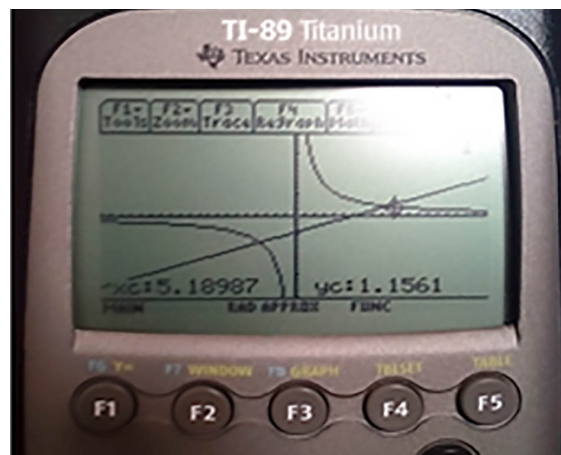
За допомогою редактора  $Y = Editor$  задаємо систему рівнянь  $y_1 = 6/x$  та  $y_2 = 2 * x/3 - 2$ . У меню  $Zoom$  налаштуємо опцію  $ZoomStd$ . Увімкнемо режим трасування  $|F3|$ . Використовуючи курсор, визначимо координати точок перетину графіків (рис. 1, б).

**Приклад 3.** М'яч кинуто під кутом  $45^\circ$  до горизонту з початковою швидкістю  $v_0 = 20$  м/с. За допомогою калькулятора TI-89 Titanium, нехтуючи опором повітря, визначте найбільшу висоту підняття над горизонтом і дальність польоту, побудуйте траєкторію руху м'яча. Прискорення вільного падіння прийняти рівним  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>.

У задачах такого типу початок координат доцільно об'єднати з початковим положенням м'яча, вісь  $OY$  спрямувати вертикально вгору, а вісь  $OX$  — горизонтально. Тоді для обраної системи координат рівняннями, що описують рух, є:  $x(t) = v_0 t \cos \alpha$ ,  $y(t) = v_0 t \sin \alpha - \frac{g}{2} t^2$ .



а



б

Рис. 1. Побудова графіка функції  $y = x^2 + 4x$  (а) та розв'язок системи рівнянь  $x + y = 6$ ;  $2x - 3y = 6$  графічним способом (б) за допомогою TI-89 Titanium

Задаємо тип графіки — параметричний, для чого в меню режимів роботи (кнопка |Mode|) налаштуємо опцію Graph-Parametric. Відповідно до умови задаємо рівняння в редакторі Y=Editor:  $xt1 = 20 \cdot t \cdot \cos(45^\circ)$ ,  $yt1 = 20 \cdot t \cdot \sin(45^\circ) - \frac{9.8}{2} \cdot t^2$ .

Налаштуємо параметри графічного вікна. Для цього натиснемо на клавіатурі кнопку введення операторів |♦|, а далі кнопку |WINDOW|. Введемо граничні значення для вікна перегляду графіка ( $x_{\min} = 0$ ;  $x_{\max} = 50$ ;  $y_{\min} = 0$ ;  $y_{\max} = 12$ ), найменше і найбільше значення  $t$  для розрахунку ( $t_{\min} = 0$ ;  $t_{\max} = 3$ ), величину кроку ( $t_{\text{step}} = 0,1$ ), а також масштаб по осі OX ( $x_{\text{sc1}} = 5$ ) і по осі OY ( $y_{\text{sc1}} = 5$ ).

Для побудови траєкторії руху м'яча перейдемо в режим побудови графіка (натиснемо кнопку зі значком ромба |♦|, далі — |GRAPH|). Увімкнемо режим трасування |F3|. Переміщуючи курсор уздовж графіка, знайдемо максимальну висоту підйому  $y = 10,2$  м (рис. 2), дальність польоту  $x = 40$  м, час польоту до зіткнення із землею  $t = 2,8$  с.

**Приклад 4.** Використовуючи калькулятор моделі TI-89 Titanium, обчисліть невизначений і визначений інтеграл: а)  $\int x \sin x dx$ , б)  $\int_1^3 5\sqrt{3x-1} dx$ .

У TI-89 передбачено такий формат запису для обчислення інтегралів від функцій:  $\int$ (функція, змінна, нижня межа, верхня межа). Натискаємо кнопку доступу до вбудованих додатків калькулятора |APPS|, обираємо основне вікно сесії (кнопка |Home|) і вводимо вираз  $\int(x \cdot \sin(x), x)$ . Інтеграл невизначений, тому межі інтегрування відсутні. Натискаємо кнопку фіксації введення |Enter|. Калькулятор розраховує результат  $\sin(x) - x \cdot \cos(x)$ . Звертаємо

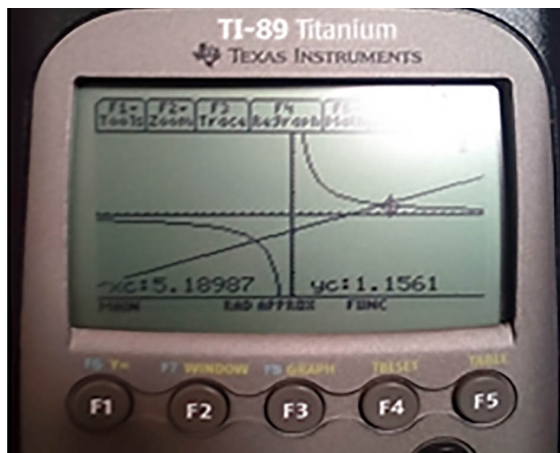


Рис. 2. Розв'язок задачі з використанням калькулятора TI-89 Titanium (приклад 3)

увагу, що невизначена стала  $C$  у відповіді автоматично не додається.

Тепер обчислимо визначений інтеграл:  $\int(5 \cdot \sqrt{3 \cdot x - 1}, x, 1, 3)$ . Після натискання |Enter| відобразиться результат 21,9989.

**Приклад 5.** За допомогою TI-89 Titanium знайдіть похідну першого і другого порядку від функції  $y = x^2 - 7x$ .

У цьому калькуляторі передбачено такий формат запису для обчислення похідної функції:  $d$ (функція, змінна, порядок похідної). В основному вікні сесії |Home| набираємо вирази:  $d(x^2 - 7 \cdot x, x, 1)$ , результат:  $2x - 7$  та  $d(x^2 - 7 \cdot x, x, 2)$ , результат:  $2$ .

**Висновки та перспективи подальших розвідок.** На сьогодні розроблено й апробовано методики застосування графічних калькуляторів не тільки в навчанні математики і фізики, а й інших STEM-предметів. Так, у роботі [39] калькулятор розглядається як засіб навчання на уроках інформатики. Як зазначає В. Богун, графічні калькулятори мають «величезне значення для розвитку креативності мислення учнів в поєднанні з наочним моделюванням реальних процесів і об'єктів, а можливість програмування створює умови для самовдосконалення учнів і отримання ними навичок елементарного програмування» [40].

Крім того, до сучасних графічних калькуляторів можна під'єднувати різні пристрої, наприклад проєкційне обладнання (мультимедіа-проєктори і рідкокристалічні панелі), датчики фізичних величин (освітленості, температури, звуку, тиску газу, сили, напруги, руху та ін.), що перетворює їх на мобільну потужну лабораторію і робить привабливими в межах реалізації концепції STEM/STEAM-освіти.

Заслугує на увагу розробка фірми «Texas Instruments», яка розширює функціональність графічних калькуляторів, — мобільна лабораторія TI-Innovator Hub [41]. Будь-який з компонентів лабораторії (датчики, контролери, індикатори тощо) можна підключити до графічних калькуляторів TI-84 Plus CE-T і TI-Nspire CX. Система навігації TI-Nspire Navigator дає змогу вчителю передавати дані безпосередньо на калькулятори учнів, переглядати обчислення на їхніх дисплеях, виводити результати зі свого калькулятора на екран комп'ютера або проєктор.

Водночас чимало дослідників (Р. Сазерленд, В. Армстронг, С. Барнс, Р. Браун та ін.) [42] звертають увагу на те, що рутинне застосування сучасних технологій є недостатньо ефективним, тому педагогічній спільноті слід раціонально підходити до реалізації інтегрованих пропозицій. На нашу думку, творчий підхід до застосування графічних калькуляторів дасть змогу розширити і поглибити зміст не тільки шкільного курсу математики, а й фізики та інформатики.

Отже, існує реальна потреба в більш глибоких дослідженнях порушеного питання і його подальшій практичній реалізації:

- організація спецкурсу (практикуму) з використанням графічного калькулятора, підготовка та видання відповідних зошитів для проведення практикуму з виконання задач зі STEM-предметів;
- планування в навчальних програмах тем, спрямованих на вивчення учнями системи команд графічного калькулятора і систем комп'ютерної алгебри;
- оновлення задач для проведення контрольних і самостійних робіт з графічним калькулятором;
- запровадження відповідних курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників при обласних інститутах післядипломної педагогічної освіти;
- вивчення доцільності використання графічних калькуляторів на іспитах, у тому числі під час складання зовнішнього незалежного оцінювання зі STEM-предметів тощо.

#### Список використаних джерел

1. Calculator use in elementary grades: a position of the National council of teachers of mathematics [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://www.nctm.org/uploadedFiles/Standards\\_and\\_Positions/Position\\_Statements/Calculator\\_Use\\_in\\_Elementary\\_Grades\\_July\\_2015.pdf](https://www.nctm.org/uploadedFiles/Standards_and_Positions/Position_Statements/Calculator_Use_in_Elementary_Grades_July_2015.pdf).
2. Нові підходи до викладання математики в умовах реформування вітчизняної освіти: методичний лист / укл. Е. К. Рогожинська. — Миколаїв: ОІППО, 2017. — 48 с.
3. A case for handheld graphing calculators [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://education.ti.com/en/bulletinboard/2017/may/why-graphing-calculators-add-up>.
4. Kharuddin A. F. Graphing calculator exposure of mathematics learning in a partially technology incorporated environment [Електронний ресурс] / A. F. Kharuddin, N. A. Ismail // EURASIA Journal of mathematics science and technology education. — 2017. — № 13 (6). — P. 2529–2537. — Режим доступу: [http://www.ejmste.com/pdf-61589-11872?filename=Graphing\\_Calculator.pdf](http://www.ejmste.com/pdf-61589-11872?filename=Graphing_Calculator.pdf).
5. Burrill G. Graphing calculators and their potential for teaching and learning statistics [Електронний ресурс] / G. Burrill // Research on the role of technology in teaching and learning statistics: proceedings of the 1996 IASE Round Table Conference (Spain, 23–27 July, 1996). — 1997. — P. 15–28. — Режим доступу : [https://www.dartmouth.edu/~chance/teaching\\_aids/IASE/IASE.book.pdf](https://www.dartmouth.edu/~chance/teaching_aids/IASE/IASE.book.pdf).
6. Graphing calculator [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Graphing\\_calculator](https://en.wikipedia.org/wiki/Graphing_calculator).
7. Borenson H. The graphics calculator: a helpful tool [Електронний ресурс] / H. Borenson // *Mathematics Teacher*. — 1990. — Vol. 83. — № 8. — P. 637–639. — Режим доступу: [https://www.jstor.org/stable/27966882?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/27966882?seq=1#page_scan_tab_contents).
8. Tajudin N. M. The use of graphic calculator in teaching and learning of mathematics: effects on performance and metacognitive awareness [Назва з екрана] / N. M. Tajudin, R. A. Tarmizi and etc. // *American International Journal of Contemporary Research*. — 2011. — Vol. 1. — № 1. — P. 59–72. — Режим доступу : [http://www.aijcrnet.com/journals/Vol.\\_1\\_No.1\\_July\\_2011/8.pdf](http://www.aijcrnet.com/journals/Vol._1_No.1_July_2011/8.pdf).
9. Jones P. L. Handheld technology and mathematics: Towards the partnership / P. L. Jones // *Roles of calculators in the classroom* / In P. Gomez & B. Waits (eds). — USA, 1996. — P. 87–96.
10. Kaput J. J. Technology and mathematics education / J. J. Kaput // *Handbook of research on mathematics teaching and learning* / In D. A. Grouws (Ed.). — New York: MacMillan Publishing Company, 1992. — P. 515–556.
11. Keller B. A. Effects of the TI-92 on calculus students solving symbolic problems / B. A. Keller, C. A. Russell // *International Journal of Computer Algebra in Mathematics Education*. — Vol. 4. — № 1. — P. 77–97.
12. Sweller J. Cognitive load during problem solving: effects on learning / J. Sweller // *Cognitive Science*. — 1988. — Vol. 12. — P. 257–285.

13. Atkinson R. C. Humanmemory: A proposed system and its control processes / R. C. Atkinson, R. M. Shiffrin // The psychology of learning and motivation. — New York : Academic Press, 1968. — Vol. 2. — P. 89–195.
14. Kolfshoten G. Cognitive learning efficiency through the use of design patterns in teaching / G. Kolfshoten, S. Lukosch, A. Verbraeck and etc. // Computers&Education. — 2010. — 54. — P. 652–660.
15. Sweller J. Cognitive load during problem solving: effects on learning / J. Sweller // Cognitive Science. — 1988. — № 12. — P. 257–285.
16. Sweller J. Cognitive architecture and instructional design / J. Sweller, J. Van Merriënboer, F. Paas // Educational Psychology Review. — 1998. — Vol. 10 (3) — P. 251–296.
17. Богун В. В. Лабораторный практикум по математике с графическим калькулятором: учеб. пособие / В. В. Богун, Е. И. Смирнов. — Ярославль : Изд-во «Канцлер», 2010. — 272 с.
18. Pierce R. A framework for monitoring progress and planning teaching towards the effective use of computer algebra systems / R. Pierce, K. Stacey // International Journal of Computers for Mathematical Learning. — 2004. — № 9 (1). — P. 59–93.
19. Kastberg S. Research on graphing calculators at the secondary level: implications for mathematics teacher education [Электронный ресурс] / S. Kastberg, K. Leatham // Contemporary Issues in technology and teacher education. — 2005. — № 5 (1). — P. 25–37. — Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/6a36/8f43efe6c926ae70c35742f46341676e5a0e.pdf>.
20. Дьяконов В. П. Современные зарубежные микрокалькуляторы / В. П. Дьяконов. — М. : СОЛОН-Р, 2009. — 400 с.
21. Which Calculator Is Right for Me? [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://education.ti.com/en/product-resources/graphing-course-comparison>.
22. SAT [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://uk.wikipedia.org/wiki/SAT>.
23. Calculator Policy [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://collegereadiness.collegeboard.org/sat/taking-the-test/calculator-policy>.
24. Гурьева М. Как подготовиться к экзамену PSAT [Электронный ресурс] / М. Гурьева. — Режим доступа: <https://www.study-america.info/psat>.
25. Рада коледжів [Электронный ресурс]. — Режим доступа : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Рада\\_коледжів](https://uk.wikipedia.org/wiki/Рада_коледжів).
26. MathTest [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://collegereadiness.collegeboard.org/psat-nmsqt-psat-10/inside-the-test/math>.
27. АСТ [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://uk.wikipedia.org/wiki/АСТ>.
28. АСТ calculator policy: Updated July 20, 2018 [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.act.org/content/dam/act/unsecured/documents/АСТ-calculator-policy.pdf>.
29. Преимущества Advanced Placement для поступающих в вузы США и Канады [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://neklyudova.com/programy-obucheniya-v-srednih-shkolah-za-rubegom/american-high-school/advanced-placement-ap.html>.
30. AP Calculator Policy [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://apstudent.collegeboard.org/takingtheexam/exam-policies/calculator-policy>.
31. Что такое программа IB [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://neklyudova.com/programy-obucheniya-v-srednih-shkolah-za-rubegom/ib/chto-takoe-programma-ib.html>.
32. Graphing calculator [Электронный ресурс]. — Режим доступа : [https://en.wikipedia.org/wiki/Graphing\\_calculator](https://en.wikipedia.org/wiki/Graphing_calculator).
33. Чем пользоваться на ЕГЭ [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://ege.edu.ru/ru/special/classes-11/chpege>.
34. ЗНО-2018 з математики: підготовка онлайн (пробне завдання, тести та відповіді), дата та умови [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://2018.pp.ua/novini-2018/2493-zno-2018-z-matema-tiki-pdgotovka-onlayn-probne-zavdannya-testi-ta-vidpovd-data-ta-umovi.html>.
35. TI-89 Titanium Graphing Calculator: Guidebook [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://education.ti.com/en/guidebook/details/en/FA1DC891957E4700B46A67255850C592/89ti>.
36. Шушкевич Г. Ч. Системы компьютерной математики как современная среда процесса решения задач [Электронный ресурс] / Г. Ч. Шушкевич, С. В. Шушкевич // Научные исследования

преподавателей факультета математики и информатики: сборник научных статей. — Гродно : Гродненский гос. ун-т им. Я. Купалы, 2010. — С. 122–127. — Режим доступа : <https://elib.grsu.by/katalog/144437-285930.pdf>.

37. Дьяконов В. Графические микрокалькуляторы TI-89 и TI-92 Plus фирмы Texas Instruments [Электронный ресурс] / В. Дьяконов. — Режим доступа : <http://old.exponenta.ru/soft/Others/ti/ti.asp>.

38. Исаева М. А. Современные средства информационных технологий как фактор повышения качества учебного процесса [Электронный ресурс] / М. А. Исаева // Вестник Новосибирского государственного университета. — 2011. — Т. 12. — Вып. 2. — С. 72–76. — Режим доступа : <https://nsu.ru/xmlui/bitstream/handle/nsu/3122/07.pdf>.

39. Вострокнутов И. Е. Методические рекомендации по применению малых средств информационных технологий (научных и графических калькуляторов) в школьном курсе информатики и ИКТ (базовый уровень) / И. Е. Вострокнутов, М. С. Помелова. — М. : Навигатор, 2008. — 64 с.

40. Богун В. В. Методика использования графического калькулятора в обучении математике студентов педагогических вузов: дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 [Электронный ресурс] / Богун Виталий Викторович. — Ярославль, 2006. — 245 с. — Режим доступа : <http://www.dissercat.com/content/metodika-ispolzovaniya-graficheskogo-kalkulyatora-v-obuchenii-matematike-studentov-pedagogic>.

41. Using TI-Innovator™ Hub with TI LaunchPad™ Board Getting Started Guide (version 1.3) [Электронный ресурс]. — Режим доступа : [https://education.ti.com/html/webhelp/EG\\_Innovator/EN/content/eg\\_splash/eg\\_innovhubgsg.HTML](https://education.ti.com/html/webhelp/EG_Innovator/EN/content/eg_splash/eg_innovhubgsg.HTML).

42. Sutherland R. Transforming teaching and learning: embedding ICT into everyday classroom practices / R. Sutherland, V. Armstrong, S. Barnes, R. Brawn and etc. // Journal of Computer Assisted Learning. — 2004. — Vol. 20. — Issue 6. — P. 413–425.

**Алексей Воронкин**

**ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ КАЛЬКУЛЯТОРОВ В ОБУЧЕНИИ МАТЕМАТИКЕ В ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ УКРАИНЫ**

*Статья посвящена использованию графических калькуляторов в общеобразовательных учебных заведениях. Изучен международный опыт применения калькуляторов в стандартизированных тестах по математике SAT, PSAT/NMSQT, ACT, AP, IB, Bagrut. На примере модели калькулятора Texas Instruments TI-89 Titanium представлено решение отдельных физико-математических задач. Акцентировано внимание на возможности расширения функциональности графических калькуляторов в составе мобильных STEM-лабораторий, что делает их привлекательными в практическом применении на уроках физики и информатики. Делается вывод, что массовое внедрение графических калькуляторов требует изменений как в педагогической деятельности, так и в содержании учебных программ, предназначенных для учащихся общеобразовательных учебных заведений Украины.*

**Ключевые слова:** информационные технологии, графический калькулятор, математика, STEM-образование.

**Alexey Voronkin**

**APPLICATION POTENTIAL OF GRAPHICAL CALCULATORS IN TEACHING MATHEMATICS AT GENERAL SECONDARY EDUCATION INSTITUTIONS IN UKRAINE**

*The article is dedicated to the use of graphical calculators in general education institutions. The international experience of using calculators in standardized mathematical tests SAT, PSAT/NMSQT, ACT, AP, IB, Bagrut has been studied. The solutions of individual physical and mathematical tasks were presented by the use of Texas Instruments TI-89 Titanium calculator as an example. Attention has been focused on the possibility to expand the functionality of graphical calculators in mobile STEM laboratories, that makes them attractive for practical application during Physics and Computer Science lessons. Thus, the massive introduction of graphical calculators requires the changes in pedagogical activity and in the content of curricula intended for students of general educational institutions of Ukraine.*

**Keywords:** information technology, graphing calculator, mathematics, STEM education.