

Т. В. Поліщук

ORCID 0000-0001-7690-7723

Уманський державний педагогічний
університет імені Павла Тичини

ГЕОГЕБРА ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ У МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ КУРСУ «КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ»

Розвиток цифрових технологій сприяв формуванню «цифрової економіки» та нової ідеології змін в освіті, яка неодмінно має враховувати та розумно використовувати сучасні цифрові технологічні можливості. Процес «діджиталізації» освіти породжує розробку нових засобів навчання. У статті розглядаються особливості використання динамічного математичного пакету GeoGebra у процесі вивчення початків курсу «Комплексний аналіз» як одного із ефективних засобів формування елементів цифрової компетентності майбутніх учителів математики. Для досягнення цієї мети були використані наступні методи дослідження: аналіз методичної літератури; спостереження за освітнім процесом здобувачів вищої освіти та аналіз результатів їх досягнень; порівняльний аналіз для з'ясування різних поглядів на проблему і визначення напрямку досліджень; систематизація та узагальнення для формулювання висновків. Обґрунтовано ефективність застосування математичного пакета під час вивчення тем: множина комплексних чисел, комплексна площина, комплексне число, алгебраїчні операції над комплексними числами, функція комплексної змінної та відображення, оскільки саме ці теми вивчаються у шкільному курсі математики. Встановлено, що використання математичного пакету GeoGebra сприяє формуванню у майбутніх учителів математики практичних навичок використання цифрових технологій у навчальному процесі, здатності вирішувати стандартні алгоритмічні задачі з використанням сучасних цифрових технологій та готовності до їх використання у майбутній професійній діяльності; дозволяє вдосконалити математичну фундаментальну підготовку здобувачів вищої освіти, розвинути навички моделювання та модернізувати систему підготовки вчителя математики. У роботі наведено приклади задач шкільного курсу математики, а саме «Алгебра і початки аналізу» профільний рівень, які доцільно вирішувати під час вивчення курсу «Комплексний аналіз» з використанням математичного пакету GeoGebra. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку та вдосконалення цифрового методичного забезпечення із застосуванням GeoGebra для вирішення інших задач теорії функції комплексної змінної з метою формування цифрової компетентності у майбутніх учителів математики.

Ключові слова: *підготовка учителя математики, цифрова компетентність, математика, освіта, цифрові технології, візуалізація математичних об'єктів, функція комплексної змінної, комплексне число, інновації, GeoGebra.*

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток цифрових технологій останніх років сприяв формуванню «цифрової економіки» та нової ідеології освіти. У глобальному ринку праці, на фоні цифрової трансформації економіки змінюються вимоги до умінь працівників. Сучасний висококваліфікований фахівець має: володіти гнучкою та оперативною системою знань; бути здатним до її застосування в суміжних галузях та швидко адаптуватися до технологічних змін; виявляти готовність до неперервного удосконалення та оновлення власного освітнього рівня. На такий виклик темпів розвитку технологій вища освіта має відповідати кардинальними змінами в освітніх процесах. Система навчання має враховувати і у повній мірі розумно використовувати нові можливості надані цифровізацією.

З іншої сторони, виклики, які поставили перед світом пандемії змушують людство переглядати традиційні засоби навчання та праці. Роботодавці налаштовані прискорити

цифровізацію не тільки робочих процесів але й процес навчання та розширити перелік видів робіт, які можна виконувати дистанційно. Нова парадигма інноваційної освіти в світі реалізується через низку законодавчих та нормативних документів з питань освіти. Такі документи як Модернізація вищої освіти (2011); Стратегія цифрового єдиного ринку для Європи (2015); Вдосконалення та модернізація освіти (2016); Нові навички для Європи (2016) підкреслюють важливість та необхідність розвитку цифрової компетентності людей, зокрема, освітян. У доповіді Єврокомісії «Global education monitoring report summary 2019: Migration, displacement and education: building bridges, not walls» [11] зазначається, що більше половини країн регіону (проаналізовано шкільні системи 43 країн, у тому числі 28 країн членів ЄС) впроваджують комплексний підхід e-learning у початковій школі. В інших європейських країнах поширена змішана система: навички цифрової грамотності викладаються як окремий предмет, так і в рамках «традиційних» шкільних дисциплін.

За результатами дослідження «The Future of Jobs 2020» від експертів Світового економічного форуму у рейтингу з 15 топових навичок 2025 «Technology use, monitoring and control», посідає сьоме місце. Крім того, у документі зазначається, що попит на цифрові навички серед активного населення (наприклад, програмування) у 2020 році значно зріс у порівнянні з 2019 роком, у наступні п'ять років кожному другому працівнику (50%) доведеться пройти процес перекваліфікації або ж оновити 40% професійних навичок. Усі ці тренди знайшли своє відображення в освіті. Так, у 2020 році онлайн освіта пережила справжній «бум», адже кількість осіб, які здобувають освіту онлайн зросла у дев'ять разів [13].

У вітчизняних нормативних документах тенденції європейських країн теж знайшли своє відображення. Так, «Проект Цифрової адженди України – 2020» (2016), визначає основні принципи, за якими Україна має розвиватися у цифровому просторі і розбудовувати цифрову економіку в цілому.

Застосування «цифрових технологій» в освіті – наразі одна з найбільш важливих і стійких тенденцій розвитку світового освітнього процесу. Вони дозволяють інтенсифікувати освітній процес, збільшити швидкість та якість сприйняття, розуміння та засвоєння знань. За допомогою медіа- та інтерактивних засобів учителям легше здійснювати викладання навчальних дисциплін на основі впровадження інноваційних освітніх технологій, включаючи використання «кейсів», дослідницько-пошукової роботи, методу проєктів, розвивальних навчальних ігор тощо. Як результат – здобувачі освіти значно краще засвоюють інформацію, перебуваючи в емоційно-комфортному середовищі, при цьому не втрачають бажання навчатись, створювати нові знання та інновації. Проте «цифрові технології» не замінюють учителя, а дозволяють зробити процес навчання мобільним, диференційованим, індивідуальним та автоматизувати більшу частину роботи, вивільняючи людський ресурс на пошук, спілкування, групову та індивідуальну роботу, створюють можливість отримання миттєвого зворотного зв'язку, покращують ефективність управління процесом навчання та освітою в цілому.

У Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки (2018) вказано, що пріоритетним напрямом цифрового розвитку є розвиток цифрових компетенцій громадян через навчання, модернізацію закладів освіти усіх рівнів, внесення змін до реєстру професій та розроблення програми впровадження цифрових спеціальностей у відповідні освітні програми профільних навчальних закладів.

Одним із чинників, що сприятимуть ефективному розвитку цього процесу – е формування у майбутніх учителів умінь використовувати та взаємодіяти з *цифровими технологіями для навчання, професійної діяльності*, застосувати прогресивні форми організації освітнього процесу та активні методи навчання, сучасні цифрові навчально-методичні матеріали. Зокрема, це стосується і вчителів математики.

Аналіз актуальних досліджень. Проблема формування цифрової компетентності у процесі навчання та підготовки майбутніх фахівців до професійної діяльності засобами цифрових освітніх технологій неодноразово привертала увагу як вітчизняних так і закордонних науковців. Так, у своїх працях, дослідники В. Биков, Д. Галкін, Б. Гірш, Г. Крибер, Р. Мартін, Л. Манович, О. Овчарук, О. Спирін, В. Дж. Стоммел та ін. зазначають

про недостатній рівень сформованості цифрової компетентності у педагогів. На думку науковців, зазначений недолік, зокрема, проявляється як у процесі підготовки до професійної діяльності (наприклад, розроблення навчально-методичних матеріалів), так і в процесі самоосвіти, а також у готовності використовувати цифрові технології безпосередньо в освітньому процесі.

Загострення потреби формування цифрової компетентності педагогів виокремлює Л. Гриневич [2], яка зазначає, що для вирішення цієї проблеми на рівня держави розроблено низку заходів: впровадження норм закону «Про освіту», зокрема, запровадження НУШ, розробка і затвердження Національної рамки кваліфікацій та створення Національного агентства кваліфікацій.

У сучасній психолого-педагогічній науковій літературі не існує єдиного теоретичного підходу щодо тлумачення сутності поняття «цифрова компетентність». Зокрема, у документі [8] «цифрова компетентність» визначається як *впевнене, критичне і відповідальне використання та взаємодія з цифровими технологіями для навчання, професійної діяльності. Це поняття включає в себе цифрову та інформаційну грамотність, створення цифрового контенту (в тому числі програмування).*

На думку, В. Бикова [1] «цифрова компетентність» учителя – знання, вміння та навички в галузі інформаційних технологій та здатність їх застосування в професійній діяльності.

Проблему формування цифрової компетентності у майбутніх учителів математики досліджували О. Романовський, В. Гриньова, О. Жерновникова, Л. Штефан, В. Фазан [7]. Так, цим колективом учених було визначено рівні сформованості цифрової компетентності майбутніх учителів математики та проведено науковий аналіз суті поняття «цифрова компетентність». З'ясовано, що більшість студентів вважають, що їхня інформаційна підготовка пов'язана виключно з вивченням інформатики і обчислювальної техніки. Крім того, було визначено складові та компоненти сформованості цифрової компетентності. Майбутні учителі математики виявили низький рівень оволодіння способами організації цифрової діяльності, здатності розв'язувати стандартні алгоритмічні завдання шляхом використання цифрових освітніх технологій і неготовність до їх використання у майбутній професії. Науковці роблять висновок про перевагу середнього і низького рівнів сформованості цифрової компетентності майбутніх учителів математики.

На актуальності впровадження інформаційно-комунікаційних технологій, зокрема комп'ютерно-орієнтованих систем, в освітній процес неодноразово наголошували вітчизняні науковці М. Жалдак, Ю. Горошко, Є. Вінниченко, Т. Крамаренко та ін.

Сьогодні існує велике різноманіття цифрових засобів навчання, які можна використовувати в освітньому процесі. Щодня з'являються нові рекомендації з використання того чи іншого додатку як засобу навчання. За період навчання в університеті (4-5 років) здобувачі вищої освіти не в змозі досконало опанувати усіма сучасними програмами, додатками та ресурсами. У той же час, є можливим сформуванню у майбутніх учителів математики основні знання, навички і уміння, які лежать в основі цифрової компетентності, як фахівців та професіоналів відповідно до вимог зазначених у документі [9].

Серед існуючого різноманіття математичних пакетів особливу увагу привертає пакет динамічної математики (ПДМ) GeoGebra, який є досить популярним серед педагогів. Особливості роботи в інтерактивному середовищі GeoGebra, інтерфейс програми, способи її застосування під час навчання шкільного курсу математики, приклади розв'язання задач окремих розділів вищої математики, а саме теорії графів, теорії функції комплексної змінної та математичного аналізу, висвітлено в наукових доробках вітчизняних та зарубіжних науковців В. Ракута [6], М. Друшляк, Т. Лукашова, Л. Скасків [3], А. Navetta [12].

Проте аналіз праць учених свідчить, що здебільшого розглядається питання використання цього пакету для візуалізації математичних об'єктів, розв'язування та моделювання задач зазначених вище курсів. Значно менше робіт присвячено особливостям формування цифрової компетентності за допомогою системи динамічної математики GeoGebra.

Враховуючи вище сказане постає необхідність у розробці та впровадженні методичних матеріалів у розрізі формування елементів цифрової компетентності у

підготовці майбутніх учителів математики. Зокрема, під час вивчення фундаментальних дисциплін за допомогою ПДМ GeoGebra.

Метою статті розглянути особливості формування цифрової компетентності засобами ПДМ GeoGebra під час вивчення курсу «Комплексний аналіз».

Виклад основного матеріалу. Останні події у світі засвідчують, що потреба впровадження нових технологій навчання, адекватних сьогоденню, стала об'єктивною необхідністю. Не можна не відзначити, що і здобувачі освіти, і їхні батьки зацікавлені в отриманні такої освіти, яка допоможе їм адаптуватися в швидкозмінюваному світі. У такій ситуації, на допомогу можуть прийти цифрові технології. Тому, майбутнім учителям математики в закладах вищої освіти потрібно створити умови для набуття досвіду їх використання. Звичайно, запровадження сучасних цифрових технологій шляхом використання спеціалізованих математичних пакетів має бути виваженими, доцільними та підпорядкованими меті і змісту освітнього процесу.

ПДМ GeoGebra в силу своєї вільно доступності та багатопрофільності є досить популярним інноваційним засобом для навчання математики. Він має набір інструментів, можливості яких виходять за межі елементарної математики. На перший погляд, може здатися, інструментарій цього інтерактивного середовища, не є достатньо потужним для вивчення функції комплексної змінної. Дійсно, якщо перед нами стоїть завдання виконати складні розрахунки то варто скористатися більш потужними математичними пакетами типу Matcad чи Matlab. Але для викладання основ теорії комплексної змінної, пакет GeoGebra є найкращим інструментом для візуалізації. Можливість покроково відображати хід побудови фігур, створювати динамічні математичні об'єкти, демонструвати декілька полотен, що взаємодіють між собою, надає програмі GeoGebra пріоритетність серед інших математичних пакетів. Крім того, вбудований інструментарій дозволяє досить легко виконувати дії над комплексними числами, відділяти дійсну частину від уявної у функціях та анімувати математичні об'єкти.

Наведемо приклади використання ПДМ GeoGebra для розв'язування задач з деяких тем курсу «Комплексний аналіз», які, зокрема, зустрічаються у шкільному курсі «Алгебра та початки аналізу» (профільний рівень).

Тема: «Комплексні числа та операції над ними».

Приклад 1. Зобразити комплексне число $z_1 = -1 + i$.

Методичний коментар. Відомо, що довільне комплексне число $z = x + iy$ можна зобразити точкою $Z(x; y)$ площини Oxy такою, що $x = \operatorname{Re} z$, $y = \operatorname{Im} z$. І, навпаки, кожна точку $Z(x; y)$ координатної площини можна розглядати як образ комплексного числа $z = x + iy$. Зобразити комплексне число в пакеті GeoGebra можна двома способами: перший – через команду «Комплексне число», а далі завдяки налаштуванням в опції «Показати позначення» вибрати «Ім'я та значення» (рис. 1).

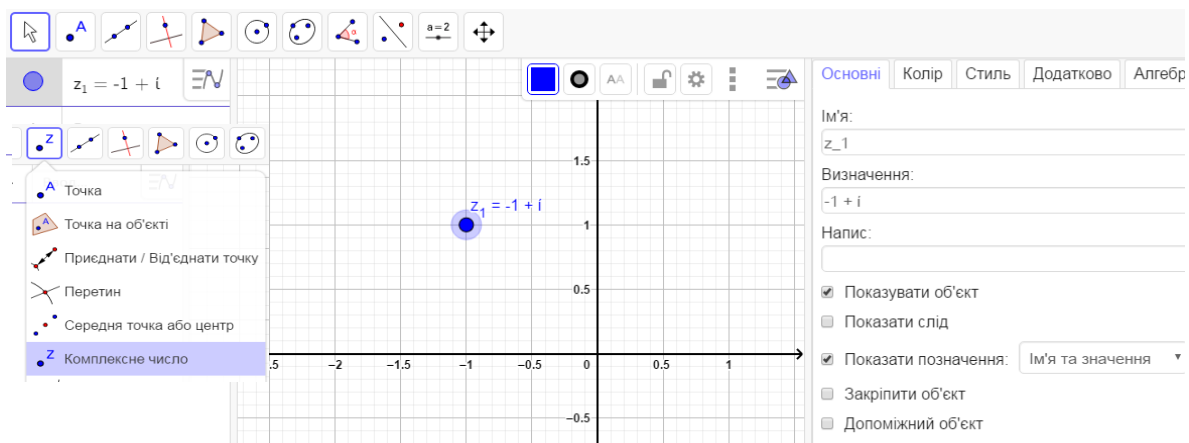


Рис. 1. Зображення комплексного числа $z_1 = -1 + i$

Другий спосіб: за допомогою віртуальної клавіатури у стрічці команд прописуємо $z_1 = -1 + i$, а далі знову використовуємо налаштування. Так ми зображаємо комплексні числа, які записано в алгебраїчній формі. Кожне комплексне число можна задати і за допомогою радіус-вектора. Для цього необхідно скористатися інструментом «Вектор» і налаштуваннями (рис. 2).

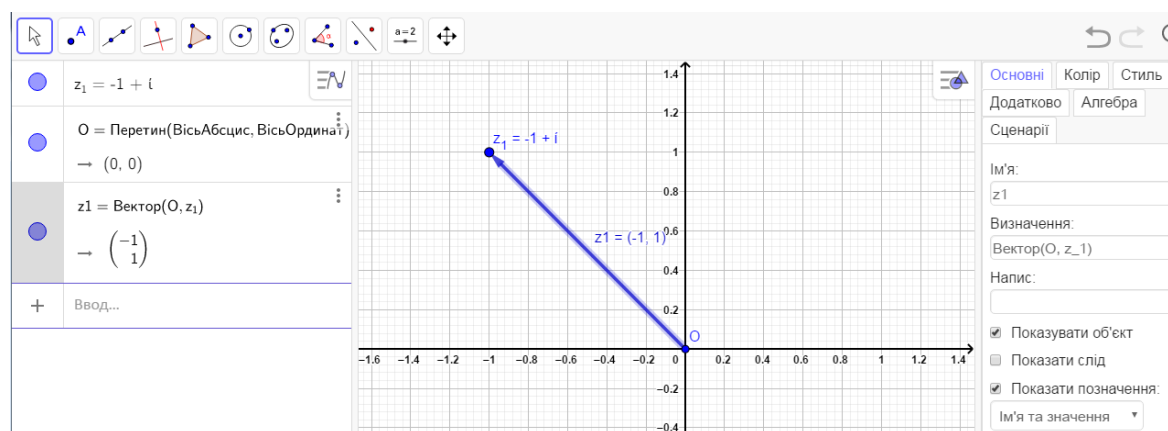


Рис. 2. Зображення комплексного числа $z_1 = -1 + i$ радіус-вектором $\vec{z_1}$

Також, студентам можна запропонувати виконати завдання 21.1 [4, с. 213]: Позначте на комплексній площині точку, яка відповідає комплексному числу: 3 ; $1 + 2i$; $2 - 3i$; $11 - i$; $-5i$; $-3 + i$.

Якщо ж необхідно виконати дії над комплексними числами, наприклад, піднести до квадрату число $z_1 = -1 + i$, то достатньо у стрічці команд прописати « $z_2 = (z_1)^2$ » і для зображення радіус-вектором числа z_2 виконати дії, які описано вище (інтерактивну модель можна переглянути за посиланням <https://www.geogebra.org/classic/fasdsded>).

Приклад 2. Зобразіть на комплексній площині всі числа z , які задовольняють умову $2 \leq |z - 1 + i| < 3$.

Методичний коментар. Розглянемо нерівності $|z - 1 + i| \geq 2$ та $|z - 1 + i| < 3$. Число $|z - (1 - i)|$ дорівнює відстані від точки $z_1 = 1 - 1i$ до деякої точки z . Тоді нерівність $|z - (1 - i)| \geq 2$ задовольняють усі ті й тільки ті точки комплексної площини, які лежать зовні кола радіуса 2 із центром у точці $(1; -1)$. Зрозуміло, що нерівність $|z - 1 + i| < 3$ задовольняють усі ті й тільки ті точки комплексної площини, які лежать усередині кола радіуса 3 із центром у тій самій точці. Тоді шукані точки утворюють кільце, яке обмежене колами $|z - 1 + i| = 2$ і $|z - 1 + i| = 3$. Для того щоб вирішити цю задачу в середовищі GGeoGebra необхідно спочатку побудувати комплексне число z_1 та два кола з центром у точці z_1 і радіусами 2 і 3 відповідно. Для цього можна використати вбудовані інструменти «Комплексне число» і «Коло: Центр та радіус». Потім у стрічці команд необхідно послідовно ввести нерівності $(x - 1)^2 + (y + 1)^2 \geq 2$ та $(x - 1)^2 + (y + 1)^2 < 3$ і ми отримаємо геометричне зображення множини точок комплексної площини, яку потрібно знайти за умовою задачі (інтерактивну модель можна переглянути за посиланням <https://www.geogebra.org/classic/hq9bnrmw>).

Студентам можна запропонувати виконати завдання 21.26 [4, с. 216], розв'язування якої передбачає розуміння поняття «спряженого комплексного числа», володінням такими вміннями, як позбуватися від уявності у знаменнику комплексного числа, відділяти дійсну частину комплексного числа від уявної та виділяти повний квадрат.

Приклад 3. Визначте корені комплексного числа $z_1 = \sqrt[n]{-2-i}$ при $n = 2, \dots, 6$, $n \in \mathbb{N}$ та зобразіть їх на комплексній площині.

Методичний коментар. Для виконання цього завдання можна використати готову інтерактивну модель, яка розміщена у хмарному файловому сховищі GeoGebra [10] підставивши свої дані (рис. 3).

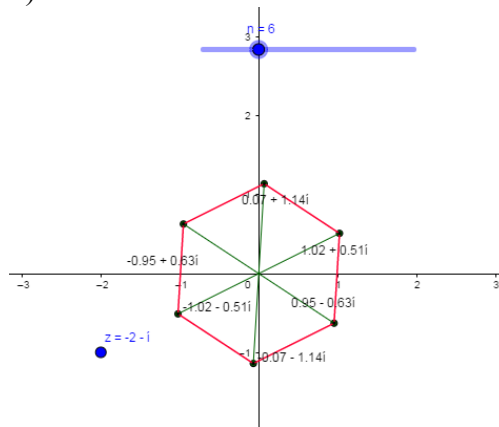


Рис. 3. Корені комплексних чисел

Таким способом можна розв'язати завдання 22.12 [4, с. 223], що створить умови для набуття навиків практичного використання готових цифрових навчально-методичних матеріалів.

Тема: «Поняття функції комплексної змінної».

Приклад 4. Побудувати криву, яку отримаємо при відображенні частини прямої $x = 2$, $y \in [-6; 6]$, що здійснюється функцією $f(z) = z^2$.

Методичний коментар. Для побудови образу частини прямої достатньо скористатися лише двома вбудованими інструментами. За допомогою інструменту «Відрізок» будемо частину прямої $x = 2$, $y \in [-6; 6]$. Далі фіксуємо точку z_1 на відрізку AB використавши інструмент «Комплексне число» та опцію «Анімація». У стрічці команд вводимо $w_1 = (z_1)^2$ і отримуємо образ точки z_1 з площини Z у вигляді точки $w_1 \in W$. Далі у налаштуваннях точки w_1 вибираємо опцію «Анімація» та «Залишити слід». (інтерактивну модель можна переглянути за посиланням <https://www.geogebra.org/classic/ceqdtync>)

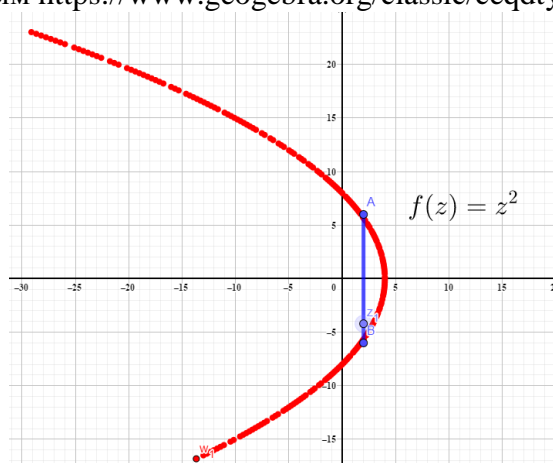


Рис. 4. Інтерактивна модель до прикладу 5

Аналогічно можна побудувати образ кривої (рис. 5), яку отримуємо при відображенні довільної точки еліпса, що здійснюється функцією $f(z) = \frac{1}{z^2}$ (інтерактивну модель можна переглянути за посиланням <https://www.geogebra.org/classic/cxcfjtqh>).

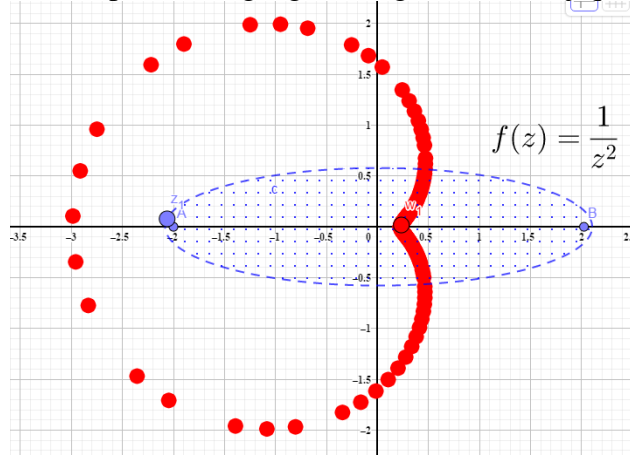


Рис. 5. Образ кривої яку отримуємо при відображенні $f(z) = \frac{1}{z^2}$

До кожної із тем, які вивчаються в курсі «Комплексний аналіз» розроблено індивідуальні завдання для поточного контролю. Студентам, пропонується підібрати вправи зі шкільного курсу математики та розв'язати їх записавши розв'язок на листку паперу, а також за допомогою цього математичного пакету, створивши відповідно цифровий документ. Переважна більшість студентів успішно справляється із цим завданням.

Висновки і перспективи подальших наукових розвідок. На основі досліджень ми дійшли наступних висновків. Використання ПДМ GeoGebra при вивченні деяких тем курсу «Комплексний аналіз», як засобу візуалізації математичних об'єктів, створення навчально-методичних матеріалів у цифровому форматі дозволяє оптимізувати та підвищити ефективність процесу навчання, сприяє формуванню навиків практичного використання цифрових технологій як однієї із складових цифрової компетентності у підготовці майбутніх учителів математики. Також створює можливість продемонструвати результати своєї навчальної діяльності шляхом створення інтерактивної моделі різних явищ, і головне, підвищує зацікавленість студентів до вивчення фундаментальної науки через можливість візуалізації використання математичного апарату. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку та вдосконалення цифрового методичного забезпечення із застосуванням GeoGebra для вирішення інших задач теорії функції комплексної змінної (наприклад, «Практичні застосування комплексних чисел») з метою формування цифрової компетентності у майбутніх учителів математики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Биков, В. (2018). Досвід: Цифрове навчальне середовище. Цифрова компетентність учителя. Режим доступу: <https://cutt.ly/GhOIrAD>. (Bykov, V. (2018). Digital Competence of Teacher. Digital competence of the teacher. Retrieved from: <https://cutt.ly/GhOIrAD>).
2. Гриневич, Л. (2017). Від школи, де накачують знаннями, ми переходимо до школи компетентностей. Режим доступу: <https://cutt.ly/LhOIaWo>. (Ghrynevych, L. (2017). From the school where we pump knowledge, we turn to the school of competencies. Retrieved from: <https://cutt.ly/LhOIaWo>).
3. Друшляк, М. Г., Лукашова, Т. Д., Скасків, Л. В. (2019). Навчання майбутніх вчителів математики розв'язувати задачі теорії графів із використанням GeoGebra. Фізико-математична освіта, 1, 35–40. (Drushlyak, M., Lukashova, T., Skaskiv, L. (2019). Teaching future math teachers how to solve graph theory problems using GeoGebra. Physical and mathematical education, 1, 35–40).

4. Мерзляк, А. Г., Номіровський, Д. А., Полонський, В. Б., Якір, М. С. (2019). Алгебра і початки аналізу : початок вивчення на поглиб. рівні з 8 кл. : проф. рівень : підруч. для 11 кл. закладів загальної середньої освіти. Харків: Гімназія. (Merzlyak, A. G., Nomirovsky, D. A., Polonsky, V. B., Yakir, M. S. (2019). Algebra and the beginnings of analysis: the beginning of the study in depth. levels with 8 classes. : prof. level: at hand. for 11 classes. institutions of general secondary education. – Kharkiv: Gymnasium).
5. Проект Цифрова агенда України – 2020 («Цифровий порядок денний» – 2020). Концептуальні засади (версія 1.0). (2016). Режим доступу: <https://cutt.ly/WhOU6xo>. (Digital Agenda Project of Ukraine – 2020 (Digital Agenda 2020). Conceptual framework (version 1.0). (2016). Retrieved from: <https://cutt.ly/WhOU6xo>).
6. Ракута, В. (2012). Система динамічної математики GeoGebra як іновативний засіб для вивчення математики Інформаційні технології і засоби навчання, 4, 30. Режим доступу: <https://cutt.ly/yhOIZP8>. (Rakuta, V. (2012). Geogebra dynamic mathematics system, as innovative tool for the study of mathematics. Information Technologies and Learning Tools, 4, 30. Retrieved from: <https://cutt.ly/yhOIZP8>).
7. Романовський, О., Гриньова, В., Жерновникова, О., Штефан, Л., Фазан, В. (2018). Формування цифрової компетентності майбутніх учителів математики: констатувальний етап. Інформаційні технології і засоби навчання, 65, 3, 184–200 (Romanovski, O., Grineva, V., Zhernovnykova, O., Shtefan, L., Fazan, V. (2018). Formation of future mathematics teachers' digital competence: ascertain stage. Information Technologies and Learning Tools, 65, 3, 184–200).
8. Annex to the Proposal for a Council Recommendation on Key Competences for Lifelong Learning (2018). Retrieved from: <https://cutt.ly/IhOIoTB>.
9. Carretero, S., Vuorikari, R., Punie, Y. (2017). DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for Citizens with eight proficiency levels and examples of use. Retrieved from: <https://cutt.ly/uhOIynS>.
10. GeoGebra. Retrieved from: <https://www.geogebra.org>.
11. Global education monitoring report summary 2019: Migration, displacement and education: building bridges, not walls. Retrieved from: <https://cutt.ly/4hOU40K>.
12. Navetta, A. (2016). Visualizing functions of complex numbers using Geogebra. North American GeoGebra Journal, 5, 2. Retrieved from: <https://cutt.ly/EhOIfJw>.
13. The Future of Jobs 2020. Retrieved from: <https://cutt.ly/IhJVLAg>.

Полищук Т. В. Geogebra как эффективный инструмент формирования цифровой компетентности у будущих учителей математики во время изучения курса «Комплексный анализ».

***Аннотация.** Развитие цифровых технологий способствовало формированию «цифровой экономики» и новой идеологии изменений в системе образования, которые обязательно должны учитывать и разумно использовать современные цифровые технологические возможности. Процесс «диджитализации» образования порождает разработку новых средств обучения. В статье рассматриваются особенности использования динамического математического пакета GeoGebra в процессе изучения начал курса «Комплексный анализ» как одного из эффективных средств формирования элементов цифровой компетентности будущих учителей математики. Для достижения этой цели были использованы следующие методы исследования: анализ методической литературы; наблюдение за образовательным процессом соискателей высшего образования и анализ результатов их достижений; сравнительный анализ для выяснения различных взглядов на проблему и определения направления исследований; систематизация и обобщение для формулирования выводов. Обоснована эффективность применения математического пакета при изучении тем: множество комплексных чисел, комплексная плоскость, комплексное число, алгебраические операции над комплексными числами, функция комплексной переменной, поскольку именно эти темы изучаются в школьном курсе математики. Установлено, что использование математического пакета GeoGebra способствует формированию у будущих учителей математики практических навыков использования цифровых технологий в образовательном процессе, способности решать стандартные алгоритмические задачи с использованием современных цифровых технологий и готовности к их использованию в будущей профессиональной деятельности; позволяет усовершенствовать математическую фундаментальную подготовку соискателей высшего образования, развить навыки моделирования и модернизировать систему подготовки учителя математики. В работе приведены примеры задач школьного курса математики, которые целесообразно решать при изучении курса «Комплексный анализ» с использованием математического пакета GeoGebra. Дальнейшие исследования будут направлены на применение GeoGebra для решения других задач в контексте методической подготовки будущих учителей математики.*

***Ключевые слова:** подготовка учителя математики, будущий учитель математики, цифровая компетентность, математика, образование, цифровые технологии, визуализация математических объектов, комплексное число, функция комплексной переменной, инновации, GeoGebra.*

Polishchuk T. V. Geogebra as an effective tool for the formation of digital competence in future mathematics teachers during the course «Complex Analysis».

***Summary.** The rapid development of digital technologies in recent years has contributed to the formation of a «digital economy» and a new ideology of education. The learning system must take into account and use new digital technological capabilities wisely. The relentless process of «digitalization» of education gives rise to the development of new teaching aids. The article considers the peculiarities of using the dynamic mathematics package GeoGebra in the process of studying some topics of the course «Complex analysis» as one of the effective means of forming elements of digital competence of the future teachers of mathematics. The following research methods were used to achieve this goal: analysis of the methodological literature; observation of the educational process of higher education seekers and analysis of the results of their achievements; comparative analysis to clarify different views on the problem and determine the direction of research; systematization and generalization to formulate conclusions. The efficiency of application of mathematical package in the process of studying topics is substantiated: set of complex numbers, complex plane, complex number, algebraic operations on complex numbers, function of complex variable and mapping, as these topics are studied in school mathematics course. The use of this mathematical package contributes to the formation of the future teachers of mathematics practical skills of using digital technologies in the educational process, the ability*

to solve standard algorithmic problems using modern digital technologies and readiness to use them in future professions, allows improving the mathematical fundamental training of students, to develop modeling skills and to modernize the system of teacher's preparation are established. Examples of problems of the school course of mathematics, namely «Algebra and the beginnings of analysis» profile level, which should be solved during the study of the course «Complex Analysis» using the mathematical package GeoGebra the paper presents. Further research will focus on the use of GeoGebra to solve other problems in the context of methodological training of future teachers of mathematics.

Key words: *math teacher training, future teachers of mathematics, digital competence, math, education, digital technology, mathematical object visualization, complex number, complex variable function, innovations, GeoGebra.*