

## ПРОГРАМУВАННЯ МОВОЮ R ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ ОСВІТИ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ: МЕТОДИ, ІНСТРУМЕНТИ ТА ПРАКТИЧНІ ЗАСТОСУВАННЯ

**Ясінський А. М.**

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри математичного моделювання  
Приватного вищого навчального закладу «Міжнародний економіко-гуманітарний університет  
імені академіка Степана Дем'янчука»  
**ORCID ID:** 0000-0002-1894-1314

**Соловей Л. Я.**

старший викладач кафедри інформаційних систем та обчислювальних методів  
Приватного вищого навчального закладу «Міжнародний економіко-гуманітарний університет  
імені академіка Степана Дем'янчука»  
**ORCID ID:** 0009-0001-2832-1741

**Ковальчук В. А.**

здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти  
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»  
Приватного вищого навчального закладу «Міжнародний економіко-гуманітарний університет  
імені академіка Степана Дем'янчука»  
**ORCID ID:** 0009-0009-5521-902X

*Процес формування компетенцій фахівців IT галузі із застосування комп'ютерних технологій для виконання розрахунків і проведення досліджень із використанням математичної моделі можна розділити на декілька етапів. Сучасний підхід став можливим лише в останні декілька років, заснований на застосуванні спеціальних математичних пакетів. Мета дослідження полягала у формуванні методичної системи застосування середовища RStudio для формування математичних компетенцій студентів.*

*Для проведення огляду методичних можливостей середовища RStudio було виконано аналіз наукових статей та відкритих джерел, що стосуються даного програмного забезпечення та експериментальне дослідження функціонального забезпечення середовища.*

*Вибір відповідного програмного забезпечення є ключовим рішенням у сфері формування знань умінь та навичок з вищої математики які задовольняють різноманітні потреби фахівців IT галузі. У цій статті міститься систематизований огляд функціональних та програмних можливостей середовища RStudio зорієнтованих на виконання типових завдань вищої математики. Чітко сформовані алгоритми, розв'язування математичних завдань на мові R, поєднують навички програмування із проблемами проведення математичних обчислень. Практичні навички візуалізації результатів обчислень суттєво доповнюють методики формування математичних компетенцій.*

*Проведений аналіз дозволив сформувати системний методичний підхід до формування математичних компетенцій із застосування середовища RStudio. Робота надає вичерпний огляд методичних підходів до вивчення розділів вищої математики через застосування бібліотек та програмних можливостей мови R. В статті визначені методичні засади використання програмного середовища RStudio в процесі вивчення вищої математики при підготовці фахівців IT галузі. Висновки, сформовані в дослідженні, дозволяють формалізувати систему інтеграції середовища RStudio у методичний комплекс вивчення вищої математики на факультеті кібернетики.*

**Ключові слова:** програмне забезпечення, обробка даних, функціональні характеристики RStudio, програмування R, бібліотеки середовища, математичні компетенції.

### Yasinskyi A. M., Solovei L. Ya., Kovalchuk V. A. R programming to enhance mathematics education and research: methods, tools, and practical applications

*The process of forming the competencies of IT specialists in the application of computer technologies for performing calculations and conducting research using a mathematical model can be divided into several stages. The modern approach became possible only in the last few years, based on the use of special mathematical packages. The purpose of the research was to form a methodical system of using the RStudio environment for*

*the formation of students' mathematical competencies. To review the methodological capabilities of the RStudio environment, an analysis of scientific articles and open sources related to this software and an experimental study of the functionality of the environment were performed. The choice of the appropriate software is a key decision in the field of formation of knowledge, skills and abilities in higher mathematics that meet the various needs of IT specialists. This article contains a systematic overview of the functional and software capabilities of the RStudio environment aimed at performing typical tasks in higher mathematics. Well-formed algorithms, solving mathematical problems in the R language, combine programming skills with the problems of performing mathematical calculations. Practical skills of visualization of the results of calculations significantly complement the methods of formation of mathematical competences. The conducted analysis made it possible to form a systematic methodical approach to the formation of mathematical competences using the RStudio environment. The work provides a comprehensive overview of methodological approaches to the study of sections of higher mathematics through the use of libraries and programming capabilities of the R language. The article defines the methodological principles of using the RStudio software environment in the process of studying higher mathematics in the training of IT specialists. The conclusions formed in the research allow formalizing the system of integration of the RStudio environment into the methodological complex of studying higher mathematics at the faculty of cybernetics.*

**Key words:** software, data processing, functional characteristics of RStudio, R programming, environment libraries, mathematical competences.

**Вступ.** В останні десятиліття ми спостерігаємо стрімке впровадження комп'ютерної техніки як у виробничі процеси, так і в повсякденне життя. Це підкреслює важливість підготовки магістрів та аспірантів, які мають глибокі знання і навички в роботі з комп'ютерною технікою, необхідною для вирішення складних теоретичних та практичних завдань. Використання комп'ютерної техніки дозволяє краще зрозуміти і засвоїти фізичну сутність досліджуваних процесів, вирішувати задачі, які неможливо вирішити аналітичними методами, а також швидко і точно проводити необхідні розрахунки.

**Матеріали та метод.** Знання комп'ютерних технологій дозволяють дослідникам і фахівцям значно розширити свої можливості в галузі досліджень і розробок. Використання програмного забезпечення для моделювання і симуляцій, автоматизації процесів, обробки великих обсягів даних та оптимізації інженерних рішень є ключовими факторами успішного виконання наукових та інженерних завдань. Крім того, володіння сучасними комп'ютерними навичками стає все більш затребуваним на ринку праці, що відкриває перед випускниками широкі можливості для професійного зростання і кар'єрного розвитку.

Сучасні математичні пакети дозволяють ефективно та швидко проходити всі етапи процесу формування компетенцій фахівців ІТ галузі, використовуючи комп'ютери для виконання розрахунків і проведення досліджень із

застосуванням математичної моделі. Це значно підвищує якість та ефективність навчального процесу і наукових досліджень. Вони забезпечують інтерактивну роботу з моделями, візуалізацію результатів, автоматизацію розрахунків та зручні засоби для документування проведених досліджень. Це сприяє глибокому розумінню фізичної сутності процесів і явищ, що досліджуються, та розвитку необхідних компетенцій у фахівців ІТ галузі.

Таким чином, інтеграція комп'ютерної техніки у навчальний процес та професійну підготовку фахівців ІТ галузі є не лише актуальною, але й необхідною умовою для забезпечення формування високого рівня компетентності.

На сучасному етапі неможливо уявити освітню діяльність без використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій. Дійсно, комп'ютер став невід'ємною частиною процесу навчання кожного студента. У навчанні, залежно від завдань, які ми ставимо перед собою, використовуємо комп'ютерні технології як інструмент: інформаційний, демонстраційний, моделювальний, обчислювальний, контрольний. Інформаційно-комунікаційні технології містять навчально-методичне забезпечення математичних дисциплін. Демонстраційні комп'ютерні технології дають можливість здійснити презентацію частини лекційного матеріалу, виступу на конференції; служать засобом візуалізації. Моделювальні комп'ютерні технології (GRAN1,

MathCAD) мають велике значення для інтелектуального розвитку особистості. Обчислювальні комп'ютерні технології (MathCAD, MatLab, RStudio) дозволяють швидко виконувати обчислення, що дає змогу витратити більше часу на пошук інших шляхів розв'язання задачі чи аналізу результату [3, 27].

За твердженням Дутка Г.Я. «Фундаменталізація математичної освіти майбутніх фахівців дає можливість розглядати її у взаємодії з професійною підготовкою. Вона є засобом переходу певної сукупності математичних знань у нову якість – знань професійно-математичних, які включають як важливу складову інтелектуальну дисципліну, відповідальність, самостійність мислення та принципівості» [2, 241].

Із аналізу освітньо-професійних програм, що доступні у відкритому просторі та використовуються в закладах вищої освіти, для підготовки фахівців ІТ галузі математичній освіті відводиться багато навчального часу. Вадливість такого підходу підтверджується численними науково-педагогічними дослідженнями. «Тому значна увага при підготовці фахівців надається передовсім математичній галузі. Майже третина базових предметів навчального плану підготовки фахівців ІТ напряму пов'язана з математикою» [8, 179].

Практично кожен програмний продукт, який створюється чи обслуговується фахівцями ІТ галузі є абстрактною моделлю із власною структурою модулів та законами їх взаємодії. Частина таких складових є математичними моделями. «Розробнику математичної моделі допомагають лише ті математичні схеми, які пройшли апробацію для певного класу систем і показали ефективність у прикладних дослідженнях на комп'ютері. Ці схеми отримали назву типових математичних схем» [1, 176].

Тому при формуванні математичної освіти важливо сформувані ті знання та уміння що дають можливість ефективно застосовувати сформовані у математичній науці схеми, технології та моделі які можуть бути реалізовані цифровими засобами та інтегрованими у ІТ проекти. [7, 2-40]

Математична компетентність, як важлива складова професійної підготовки, має різноманітні вимоги та підходи до її формування [6, 79–81].

Застосування математичних методів для розв'язування стандартних задач:

- Теоретичні задачі, які потребують глибокого розуміння теоретичних концепцій математики. Сюди входять задачі з різних розділів математики (алгебра, аналіз, геометрія тощо), що вимагають від студента вміння використовувати математичні теореми, леми та інші аналітичні інструменти.

- Прикладні задачі пов'язані з реальними проблемами, які можна моделювати математично. Вони можуть включати використання математичних методів для аналізу даних, оптимізації процесів, моделювання фізичних, економічних чи соціальних явищ.

Студенти повинні вміти:

- Застосовувати відповідні математичні методи.

- Аналізувати задачі та обирати адекватні методи розв'язання.

- Оцінювати отримані результати та робити відповідні висновки.

- Інтерпретувати математичні рішення в контексті конкретних прикладних проблем.

Інтеграція математичного контенту у структуру освітньої програми передбачає застосування:

- Вища математика як окремий навчальний модуль. В цьому випадку математичні дисципліни вивчаються як самостійні курси, які закладають базові та розширені знання, що необхідні для подальшого вивчення професійних дисциплін.

- Математика в контексті професійних дисциплін. Математичний контент інтегрується у професійно-орієнтовані курси. Це означає, що математика викладається в тісному зв'язку з професійними предметами, що дозволяє студентам бачити безпосереднє застосування математичних знань у їхній професійній діяльності.

Математичні компетенції активно формують професійні характеристики фахівця ІТ галузі:

- Розвивається аналітичне мислення, здатність аналізувати проблеми, будувати логічні висновки та приймати обґрунтовані рішення.

- Формується система навичок вирішення проблем, підходи до складних проблем мають системний характер, використовуються різно-

манітні математичні інструменти та методи для знаходження рішень.

– Удосконалюються навички моделювання та прогнозування, вміння створювати математичні моделі реальних процесів та явищ, проводити їх аналіз та прогнозування можливих результатів.

Використання програмних комп'ютерних пакетів при вивченні вищої математики має високу актуальність і забезпечує низку переваг як для студентів, так і для викладачів. У сучасному навчальному процесі такі пакети, як RStudio, MATLAB, Mathematica, Maple та інші, дозволяють суттєво підвищити ефективність засвоєння складних математичних концепцій і методів. Для розгляду ключових аспектів актуальності використання спеціалізованих програмних пакетів ми вибрали RStudio.

До переваг використання RStudio в освітньому процесі можна віднести:

– Доступність і простота у використанні RStudio у поєднанні із безкоштовним і відкритим програмним забезпеченням, що робить його доступним для студентів і викладачів без додаткових фінансових витрат. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс сприяє швидкому освоєнню інструменту.

– Розширюваність і гнучкість RStudio що дозволяє підтримувати велику кількість пакетів, розширювати його функціональність відповідно до потреб користувачів. Це дає можливість використовувати його у різних контекстах і для різних завдань.

– Активна підтримка спільноти користувачів RStudio сприяє обміну знаннями, розробці нових інструментів і методів, що забезпечує постійний розвиток і актуальність програмного забезпечення.

– Використання програмних пакетів дозволяє створювати інтерактивні навчальні матеріали, де студенти можуть експериментувати з математичними моделями, змінювати параметри та спостерігати за результатами в режимі реального часу.

RStudio, як інтегроване середовище для розробки на мові програмування R, забезпечує потужні інструменти для статистичного аналізу, що є основою для багатьох математичних дисциплін. Студенти можуть застосовувати

математичні теорії безпосередньо на практиці, аналізуючи реальні дані. В умовах сучасного світу, де обробка великих обсягів даних стає все більш важливою, RStudio дозволяє студентам застосовувати математичні методи для аналізу великих наборів даних, що є ключовою компетенцією у багатьох професійних сферах.

За допомогою RStudio студенти можуть будувати математичні моделі та проводити їх симуляцію, що допомагає краще зрозуміти складні математичні концепції та їх застосування у реальних умовах. Так наприклад аналіз часових рядів та їх візуалізація допомагають зрозуміти тенденції та сезонні коливання в даних.

RStudio включає інструменти для вирішення задач оптимізації, що дозволяє знаходити оптимальні розв'язки складних математичних задач. Це особливо корисно в інженерії, економіці та інших галузях.

Навчання програмуванню та формування програмістських компетенцій можливі в середовищі RStudio. R - це мова програмування, орієнтована на статистичний аналіз і роботу з даними. Використовуючи RStudio, студенти вивчають основи програмування, розвивають навички написання ефективного та оптимізованого коду, що є критично важливим для фахівців ОТ. Однією з ключових компетенцій програміста є вміння автоматизувати рутинні завдання. RStudio дозволяє створювати скрипти для автоматизації аналізу даних, що значно підвищує ефективність роботи.

RStudio надає можливості для аналізу великих наборів даних (Big Data), що є важливим у багатьох наукових дослідженнях. Студенти можуть використовувати бібліотеки для обробки та аналізу великих обсягів даних ефективно та швидко. Значна кількість даних зосереджена у відкритих для доступу базах даних у форматі CSV. Середовище RStudio забезпечує користувачів ефективними інструментами та методиками дослідження даних.

Розглянемо типові приклади застосування RStudio в навчальному процесі при формуванні математичних компетентностей.

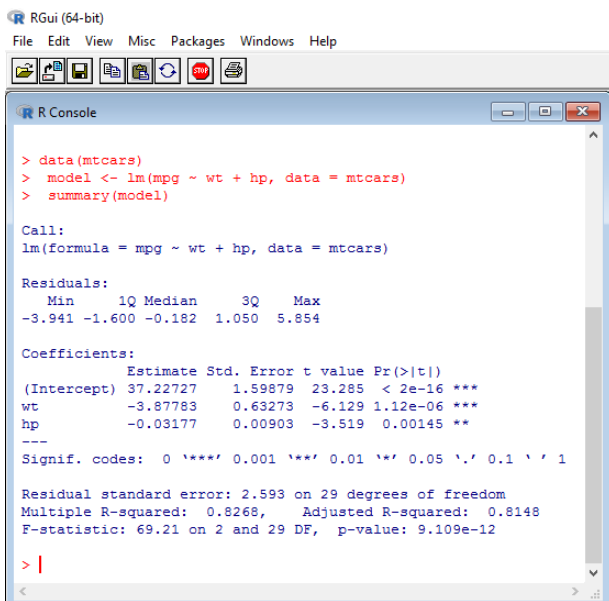
Використовуючи бібліотеки RStudio, студенти можуть розв'язувати системи лінійних рівнянь, аналізувати їх розв'язки та візуалізувати результати.



```
A <- matrix(c(2, -1, 1, 3, 1, 2, 1, -2, 3), nrow = 3, byrow = TRUE)
b <- c(1, 4, 7)
sol <- solve(A, b)
print(sol)
```

**Рис. 1. Приклад знаходження розв'язку системи рівнянь**

Студенти можуть використовувати RStudio для проведення статистичного аналізу, включаючи регресійний аналіз, тестування гіпотез та інші методи.



```
RGui (64-bit)
File Edit View Misc Packages Windows Help
R Console
> data(mtcars)
> model <- lm(mpg ~ wt + hp, data = mtcars)
> summary(model)

Call:
lm(formula = mpg ~ wt + hp, data = mtcars)

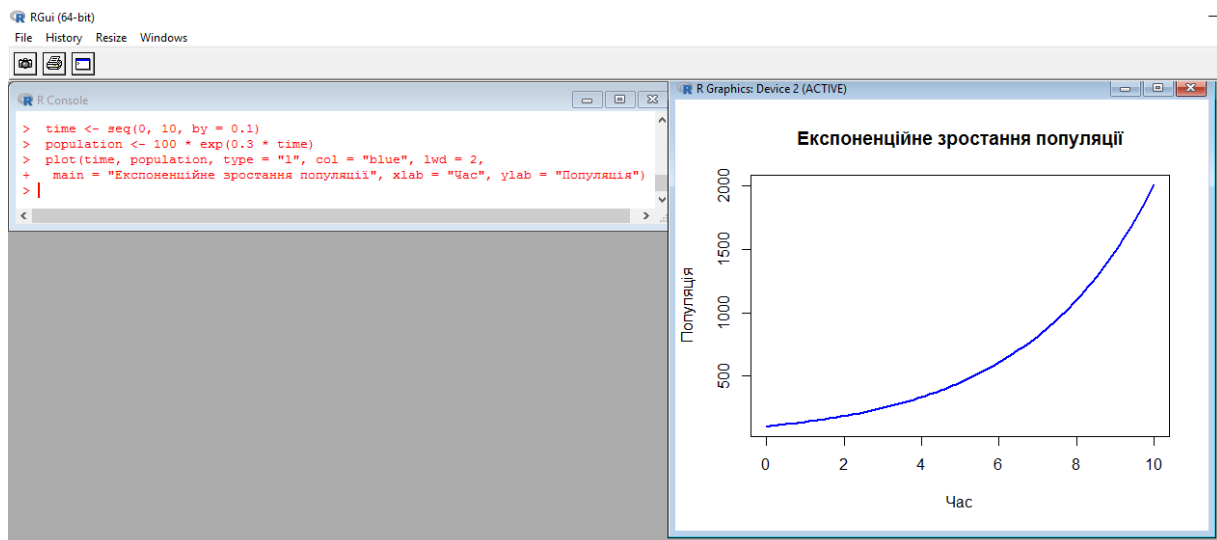
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-3.941 -1.600 -0.182  1.050  5.854

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  37.22727    1.59879   23.285 < 2e-16 ***
wt           -3.87783    0.63273   -6.129 1.12e-06 ***
hp            -0.03177    0.00903   -3.519 0.00145 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.593 on 29 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8268,    Adjusted R-squared:  0.8148
F-statistic: 69.21 on 2 and 29 DF,  p-value: 9.109e-12

> |
```

**Рис. 2. Приклад проведення статистичного аналізу**



**Рис. 3. Приклад моделювання зростання популяції або фінансових ринків**

За допомогою RStudio студенти можуть моделювати різні математичні процеси, наприклад, моделювання зростання популяції або фінансових ринків.

Програмні пакети, такі як RStudio, MATLAB, Mathematica та інші, дозволяють візуалізувати складні математичні концепції, що сприяє кращому розумінню студентами. Візуалізація математичних залежностей за допомогою RStudio є потужним інструментом у системі вивчення математики та формуванні математичних компетенцій. Графічне представлення функцій, геометричних фігур, статистичних даних та інших математичних об'єктів допомагає студентам засвоїти матеріал швидше і ефективніше. Візуалізація моделей регресії дозволяє студентам бачити, як змінні взаємодіють одна з одною та як змінюється залежна змінна при зміні незалежних змінних.

RStudio пропонує потужні інструменти для візуалізації даних (наприклад, пакет ggplot2), що допомагає студентам візуалізувати результати своїх математичних розрахунків і робити обґрунтовані висновки.

Розглянемо, як візуалізація математичних залежностей може бути інтегрована в навчальний процес за допомогою RStudio.

#### Графіки функцій

– Лінійні та нелінійні функції: За допомогою RStudio можна легко створювати графіки лінійних і нелінійних функцій, що допомагає студен-

там візуалізувати їх поведінку. Наприклад, використовуючи пакет `ggplot2`, можна будувати графіки з різними параметрами і бачити, як вони змінюються.

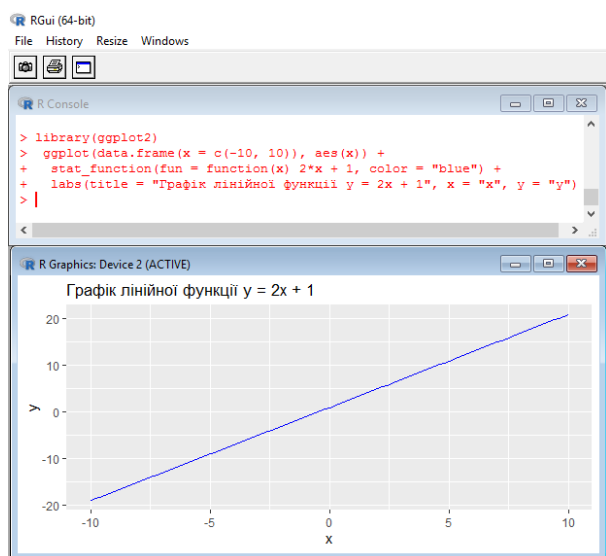


Рис. 4. Побудова графіку з візуалізацією

– Похідні та інтеграли: Графічне представлення похідних та інтегралів функцій дозволяє студентам краще розуміти концепції диференціального та інтегрального числення.

Обчислити визначений інтеграл  $\int_0^{\ln 4} e^{-x} dx$  використовуючи процедури наближеного обчислення в середовищі RStudio.

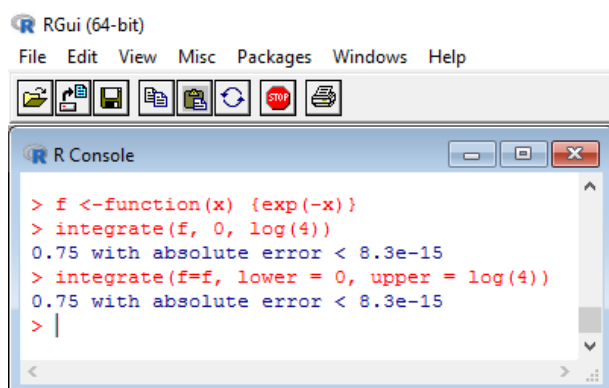


Рис. 5. Обчислення визначеного інтегралу в середовищі RStudio

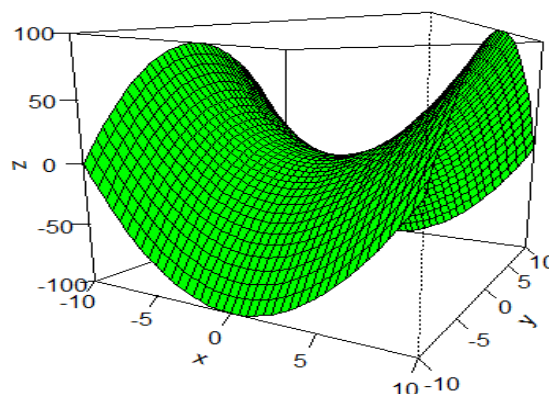
– Діаграми та гістограми використовуються для візуалізації залежностей між двома змінними. Це особливо корисно в статистиці та регресійному аналізі.

Базова ідея програмування представлення графічних поверхонь в RStudio наступна:

1. Оголошуємо функцію  $f(x, y)$ ;
2. Розбиваємо область визначення змінних  $x \in [-10; 10]$  і  $y \in [-10; 10]$  на достатньо малі частини, з яким-небудь найменшим кроком (наприклад, 0.5 або менше);
3. Обчислюємо значення функції  $f()$  у всіх отриманих точках  $(x, y)$ .
4. Отримані результати у вигляді масивів чисел передаємо в спеціальну команду `persp` для побудови двовимірного графіка (поверхні) в RStudio:

Код цієї невеликої процедури містить всього декілька рядків, а результатом є візуалізація гіперболічного параболоїда [4, 80].

```
> f <- function(x, y) {x^2 - y^2}
> x <- seq(-10, 10, by=0.5)
> y <- seq(-10, 10, by=0.5)
> z <- outer(x, y, f)
> persp(x, y, z, theta=30, phi=10, col="green",
ticktype="detailed", main="Гіперболічний параболоїд")
```



Використання засобів візуалізації при вивченні розділів вищої математики надає ряд методичних переваг:

1. Візуалізація допомагає студентам краще зрозуміти складні математичні концепції та зв'язки між змінними.
2. Графічне представлення даних робить процес навчання більш цікавим і привабливим для студентів.
3. Візуалізація даних сприяє розвитку аналітичного мислення та здатності інтерпретувати результати математичних аналізів.
4. Вміння візуалізувати дані є важливим не тільки для математики, але й для інших дисциплін, таких як економіка, біологія, соціальні науки тощо.

Використання RStudio як інструменту для розв'язання задач у курсі «Вищої математики» надає студентам численні переваги. Це дозволяє зосередитися на аналізі досліджуваних явищ, а не на виконанні рутинних та громіздких обчислень [5, 206].

Використання RStudio у курсі «Вищої математики» при підготовці фахівців ІТ галузі дозволяє розробити ефективну методичну систему формування математичних знань. Методична система застосування середовища RStudio для формування математичних компетенцій студентів складається із таких трендів:

При автоматизації рутинних обчислень RStudio дозволяє автоматизувати однотипні обчислення, що зменшує ймовірність помилок та економить час. Студенти можуть використовувати скрипти для повторюваних завдань, що дозволяє їм зосередитися на розумінні математичних концепцій та аналізі результатів.

RStudio містить велику кількість бібліотек та пакетів, які реалізують різноманітні математичні алгоритми та методи. Це дозволяє студентам використовувати сучасні інструменти для вирішення складних задач, включаючи статистичний аналіз, лінійну алгебру, оптимізацію та інші.

Візуалізація даних та процесів є важливим компонентом розуміння математичних процесів. RStudio надає потужні інструменти для створення графіків і діаграм, що дозволяє студентам бачити етапи розв'язання задачі

та інтерпретувати результати більш наочно. RStudio допомагає візуалізувати результати наукових досліджень, що сприяє кращому розумінню та інтерпретації отриманих даних. Графічні представлення можуть бути використані в наукових публікаціях та презентаціях.

**Висновки.** Використання RStudio значно підвищує ефективність навчання та досліджень у галузі інформаційних технологій та математики. Це середовище сприяє уникненню рутинних обчислень, дозволяючи студентам зосередитися на аналізі досліджуваних явищ і застосуванні сучасних алгоритмів для вирішення широкого спектру математичних задач. Візуалізація основних етапів розв'язання задач за допомогою RStudio покращує розуміння матеріалу та сприяє розвитку математичних компетенцій.

Інтеграція RStudio в методичну систему підготовки фахівців ІТ-галузі забезпечує ефективно поєднання математичної освіти з формуванням програмістських навичок, що сприяє підготовці висококваліфікованих фахівців, здатних вирішувати складні задачі аналізу даних, моделювання та програмування в умовах сучасного інформаційного суспільства. Завдяки потужним інструментам для візуалізації, RStudio підвищує ефективність навчального процесу, розвиває аналітичні навички студентів та робить навчання більш інтерактивним.

#### Список використаних джерел

1. Гліненко Л. К., Сухоносів О. Г. Основи моделювання технічних систем: навч. посіб. для студ. ВНЗ. Львів : Бескид Біт, 2003. 176 с.
2. Дутка Г. Я. Фундаменталізація математичної підготовки майбутніх фахівців: методологічний та морально-етичний компоненти. *Наука. Релігія. Суспільство*. 2008. № 2. С. 239–244.
3. Інформаційні технології: Системи комп'ютерної математики: навч. посіб. для студ. спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / І. В. Кравченко, В. І. Микитенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 243с.
4. Кальченко В.В., Мурашківська В.П., Ткач Ю.М. Математичні обчислення засобами пакету R - програмування. Навчально-методичний посібник для студентів всіх спеціальностей. Укл.: Чернігів: ЧНТУ. 2017. 86 с.
5. Майборода Р. Є. Комп'ютерна статистика: підручник. К. : ВПЦ "Київський університет", 2019. 589 с.
6. Наливайко Л. Г. Шляхи формування математичних компетентностей студентів. *Комунальне господарство міст*. 2019. Т. 6, вип. 152. С. 79–81. URL: <https://repository.pdpu.edu.ua/handle/123456789/16937>
7. Павленко П. М., Філоненко С. Ф., Чередніков О. М., Трейтяк В. В. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. К. : НАУ, 2017. 392 с.
8. Щирба В.С., Моцик Р.В., Фуртель О.В. Формування професійної мотивації при вивченні дискретних структур студентами напряму підготовки 122 Комп'ютерні науки. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Серія Педагогічна*. 2021. № 27. С. 179–182

## References

1. Hlinenko L. K., Sukhonosov O. H. (2003). *Osnovy modeliuвання tekhnichnykh system: navch. posib. dlia stud. VNZ* [Fundamentals of modeling technical systems: training. manual for students university]. Lviv : Beskyd Bit. 176 s. [in Ukrainian].
2. Dutka H. Ya. (2008). *Fundamentalizatsiia matematychnoi pidhotovky maibutnikh fakhivtsiv: metodolohichni ta moralno-etychni komponenty* [Fundamentalization of mathematical training of future specialists: methodological and moral and ethical components]. *Nauka. Relihiia. Suspilstvo*. No 2. S. 239–244. [in Ukrainian].
3. Kravchenko I. V., Mykytenko V. I. (2018). *Informatsiini tekhnolohii: Systemy komp'uternoї matematyky: navch. posib. dlia stud. spetsialnosti «Avtomatyziatsiia ta komp'uterno-intehrovani tekhnolohii»* [Information technologies: Systems of computer mathematics: education. manual for students "Automation and computer-integrated technologies" specialty]. KPI im. Ihoria Sikorskoho. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho. 243 s. [in Ukrainian].
4. Kalchenko V. V., Murashkovska V. P., Tkach Yu. M. (2017). *Matematychni obchyslennia zasobamy paketu R - prohramuvannia. Navchalno-metodychni posibnyk dlia studentiv vsikh spetsialnostei* [Mathematical calculations by means of the R package - programming. Educational and methodological manual for students of all specialties]. Ukl.: Chernihiv: ChNTU. 86 s. [in Ukrainian].
5. Maiboroda R. Ye. (2019). *Kompiuterna statystyka: pidruchnyk* [Computer statistics: a textbook]. K. : VPTs "Kyivskyi universytet". 589 s. [in Ukrainian].
6. Nalyvaiko L. H. (2019). *Shliakhy formuvannia matematychnykh kompetentnosti studentiv* [Ways of forming students' mathematical competences]. *Komunalne hospodarstvo mist*. T. 6. Vyp. 152. S. 79–81. Retrieved from: <https://repository.pdmu.edu.ua/handle/123456789/16937> [in Ukrainian].
7. Pavlenko P. M., Filonenko S. F., Cherednikov O. M., Treitiak V. V. (2017). *Matematychni modeliuвання system i protsesiv: navch. posib.* [Mathematical modeling of systems and processes: teaching. manual]. K. : NAU. 392 s. [in Ukrainian].
8. Shchyryba V. S., Motsyk R. V., Furtel O. V. (2021). *Formuvannia profesiinoї motyvatsii pry vyvchenni dyskretnykh struktur studentamy napriamu pidhotovky 122 Kompiuterni nauky* [Formation of professional motivation during the study of discrete structures by students of the field of training 122 Computer sciences]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu im. Ivana Ohiiienka. Seriia Pedagogichna*. No 27. S. 179–182 [in Ukrainian].