

інженерного профілю, які будуть володіти необхідними компетентностями за вказаною спеціальністю в поєднанні з компетентностями, необхідними для впровадження принципів сталого виробництва та підходами до реалізації цих компетентностей в межах сучасних та наукових концепцій. На поточний момент така програма підготовки унікальною в Україні і ми сподіваємося на зацікавлення нею серед випускників першого рівня вищої освіти.

Література

1. *Бойко Т. В.* Структури наскрізної підготовки фахівців за спеціалізацією «Комп'ютерно-інтегровані технології сталих хімічних виробничих комплексів» / Т. В. Бойко, Д. М. Складанний, О. С. Бондаренко // Збірник наукових статей п'ятої міжнар. наук.-практ. конф. КМХТ 2016 – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – С. 258-261.
2. *Комп'ютерно-інтегровані сталі хімічні виробництва.* Освітня програма, другий (магістерський) рівень вищої освіти. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018 р. – 15 с.
3. *Досвід підготовки магістерських дисертацій за програмами співробітництва із дослідницькими інститутами НАН України* / Т. В. Бойко, Ю. О. Безносик, Л. М. Бугаєва, С. Г. Бондаренко, О. О. Квітка, А. М. Шахновський // Збірник наукових статей п'ятої міжнар. наук.-практ. конф. КМХТ 2016 – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – С. 246-257.

ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФАХІВЦЯ ІЗ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Бойко Т. В., Квітка О. О., Шахновський А. М.

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОФЕССИОНАЛА ПО АВТОМАТИЗАЦИИ И КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Бойко Т. В., Квитка А. А., Шахновский А. М.

NUMERICAL METHODS AS THE TOOL OF PROFESSIONAL STAFF MEMBER IN AUTOMATION AND COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES

Boiko T., Kvitka O., Shakhnovsky A.

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
kxtp@kpi.ua**

Статтю присвячено методичним питанням викладання курсу «Чисельні методи» студентам першого рівню вищої освіти (бакалавр) із спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Проаналізовано досвід провідних університетів.

Представлено та ілюстровано прикладами концепцію викладання «чисельні методи як інструмент».

Ключові слова: *чисельні методи, концепція викладання, система наскрізної підготовки фахівців, математичне моделювання, інформаційні технології*

Статья посвящена методическим вопросам преподавания курса «Численные методы» студентам первого уровня высшего образования (бакалавр) специальности «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии». Проанализирован опыт ведущих университетов. Представлена и иллюстрирована примерами концепция преподавания «численные методы как инструмент».

Ключевые слова: *численные методы, концепция преподавания, система сквозной подготовки специалистов, математическое моделирование, информационные технологии*

The paper addresses the methodical issues of teaching the course "Numerical Methods" for the first degree of higher education (bachelor) students in the specialty "Automation and Computer-Integrated Technologies". The experience of leading universities was analyzed. The concept of teaching "numerical methods as an instrument" was presented and illustrated by examples.

Keywords: *numerical methods, teaching concept, system of cross-training of specialists, mathematical modeling, information technologies*

Відповідно до Закону України «Про вищу освіту» [1], перший (бакалаврський) рівень вищої освіти відповідає сьомому рівню Національної рамки кваліфікацій і передбачає здобуття особою теоретичних знань та практичних умінь і навичок, достатніх для успішного виконання професійних обов'язків за обраною спеціальністю.

Фахівець, який отримав диплом бакалавра із спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – особа з базовою вищою освітою, основна сфера діяльності якої є комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва, їх математичне, інформаційне, технічне, програмне та організаційне забезпечення; способи і методи їх проектування, налагодження і експлуатації. Об'єктами комп'ютерно-інтегрованих технологічних систем є промислові об'єкти хімічних, нафтохімічних та суміжних технологій та різні види їх забезпечень, включаючи технічне діагностування та виробничі випробування [2, 3].

У структурі знань, умінь та навичок фахівця-бакалавра із спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» чільне місце посідає вміння формулювати математичну модель досліджуваного процесу (явища, системи) та добирати засоби її вирішення. Курсу числових методів відведено важливу роль у «ланцюжку» забезпечуючих дисциплін із моделювання у системі наскрізної підготовки фахівців [4].

Незалежно від задач математичного моделювання (як-то: проектування технологічних об'єктів, автоматизоване керування, навчання фахівців на тренажерах, тощо), процес моделювання (рис. 1) вимагає кваліфікованого застосування чисельних методів вирішення математичних моделей. Таким чином, методи обчислювальної математики виступають важливим інструментом у моделюванні та прийнятті рішень.

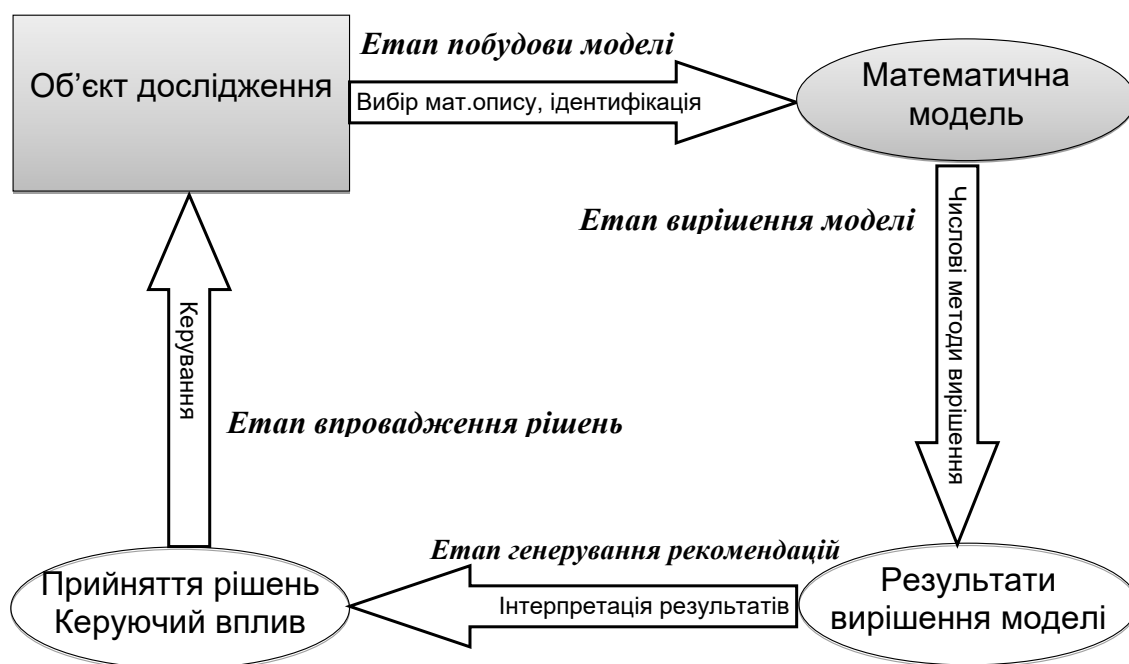


Рис. 1. Узагальнена схема процесу моделювання

Згідно робочого навчального плану, дисципліна «Обчислювальна математика» викладається студентам другого року бакалаврської підготовки спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології (спеціалізація «Комп'ютерно-інтегровані технології сталих хімічних виробничих комплексів») у четвертому навчальному семестрі. Вивчення дисципліни опирається на знання, отримані студентами раніше у фундаментальних («Вища математика») та спеціалізованих фахових дисциплінах («Комп'ютерна техніка та організація обчислювальних робіт», «Програмування», тощо). Компетенції, набуті студентами в процесі вивчення курсу числових методів, використовуються в процесі подальшого навчання в низці спеціальних курсів («Комп'ютерне моделювання процесів і систем», «Теорія автоматичного керування», «Моделювання процесів тепло- масообміну», та інших), а також в курсових і дипломних роботах, проектах.

Структуру навчальної дисципліни «Обчислювальна математика» представлено на рис. 2. Як можна бачити, аудиторна складова частина дисципліни включає два блоки:

- I. «Класичні» чисельні методи (включаючи чисельні методи розв'язання нелінійних рівнянь, розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь та систем нелінійних рівнянь; наближення функцій; чисельні методи наближеного диференціювання та інтегрування функцій, розв'язання звичайних диференціальних рівнянь та розв'язання крайової задачі для звичайних диференціальних рівнянь; розв'язання диференціальних рівнянь в частинних похідних).
- II. Чисельні методи оптимізації (нелінійне безумовне програмування – чисельні методи оптимізації для цільової функції однієї змінної; оптимізація нелінійної функції декількох змінних; нелінійне умовне програмування; лінійне програмування; дискретне (цілочисельне) програмування та спеціальні випадки оптимізації).

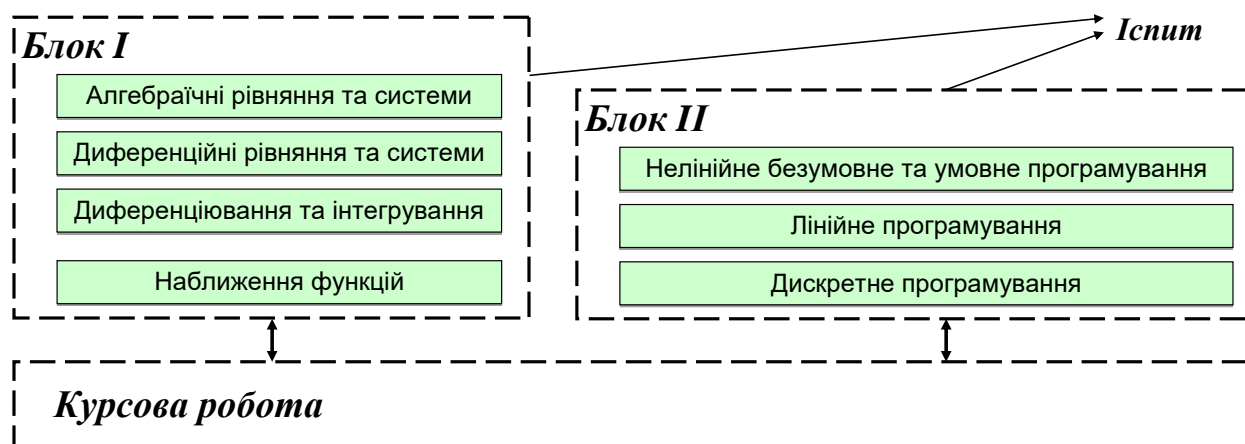


Рис. 2. Структура навчальної дисципліни «Обчислювальна математика»

Факт включення блоку оптимізації у базовий курс чисельних методів може виступати предметом дискусії. Традиційно «класичні» чисельні методи та методи оптимізації прийнято викладати у різних курсах. Прикладами можуть слугувати курс «Вступ до чисельних методів» (Массачусетський технологічний інститут, США) – [5], відповідний курс на факультеті математики і природничих наук Жешувського університету, Польща [6], та інші. В той же час, таке об'єднання – цілком у руслі сучасних тенденцій. У якості прикладу можна навести курс чисельних методів для спеціальності «Хімічна інженерія», який пропонується у згаданому Массачусетському технологічному інституті [7], і курс обчислювальної математики, що викладається у РХТУ ім. Д.І. Менделєєва (Росія) – [8].

Визначаючи концепцію викладання дисципліни, автори виходили з того, що курс чисельних методів має, з одного боку, подавати математичну теорію методів обчислень, з іншого – базуватися на можливостях доступних студентові сучасних інформаційних технологій.

Аналізуючи багаторічну практику викладання курсу на кафедрі кібернетики хіміко-технологічних процесів (становлення і розвиток сімейства дисциплін з прикладної математики на кафедрі пов'язаний із іменем доц. С.В. Брановицької), низьку публікацій останніх років із проблем викладання математичних дисциплін, і, зокрема, чисельних методів ([9-13] та інші), можна виділити два такі граничні випадки (конкуруючі парадигми) викладання числових методів:

- «Фундаментальний» підхід. Курс розглядається як складова дисципліни «Вища математика». Основна увага зосереджується на строгому викладі числових методів, із належним обґрунтуванням та виведенням відповідних математичних залежностей. Від студентів вимагається не тільки вміння розв'язувати задачі (знаходження коренів алгебраїчних рівнянь, і т.д.), а й формулювати і доводити систему теорем, на яких базуються постановка задач та методи вирішення.
- Вивчення чисельних методів «без чисельних методів». Прихильники даного підходу керуються тим міркуванням, що абсолютна більшість методів обчислювальної математики сьогодні успішно реалізована у вигляді програмного забезпечення. Немає потреби знати математичні методи – достатньо здобути навички користування відповідними системами комп'ютерної алгебри – MatLab

(SciLab, FreeLab), MathCAD (SMath Studio), Mathematica, та ін., електронними таблицями MS Office Excel (LibreOffice Calc, Gnumeric), тощо.

Автори вважають, що жодна із двох представлених парадигм не сприяє досягненню цілей курсу «Чисельні методи» в технічному вузі. Щоб мати можливість використовувати чисельні методи як інструмент, включати ці методи у систему досліджень (рис. 1), створювати власні програмні комплекси прикладного призначення, тощо, фахівець повинен отримати знання про математичний апарат, алгоритми і обчислювальні схеми чисельних методів. Саме у цьому випадку слухачі курсу матимуть у майбутньому можливість самостійно розв'язувати типові задачі автоматизації; здійснювати математичну обробку експериментальних даних; оцінювати похибки при виконанні інженерних розрахунків; застосовувати методи багатовимірної оптимізації для рішення прикладних задач і т.д.

На момент початку вивчення дисципліни «Обчислювальна математика» студенти другого року бакалаврської підготовки вже володіють навичками роботи у поширених програмах для організації обчислювальних робіт – MathCAD (SMath Studio), MS Office Excel (LibreOffice Calc), та ін. [4, 14]. Проте виходячи з вищенаведеної концепції «чисельні методи як інструмент», автори орієнтують студентів на використання вказаного програмного забезпечення (насамперед, електронних таблиць) як допоміжного засобу, для автоматизації рутинних розрахунків (рис. 3), а вбудовані засоби вказаних програм для вирішення рівнянь, апроксимації, тощо – для перевірки результатів розрахунків.

У якості прикладу на рис. 3 а та 3 б представлено фрагмент розрахунків із практичної роботи з дисципліни «Обчислювальна математика» – знаходження коренів системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) методом простої ітерації у MS Excel; на рис. 3 в показано «перевірочний» розрахунок коренів системи рівнянь убудованими засобами MathCAD.

Виходячи з концепції «чисельні методи як інструмент», автори стимулюють студентів до реалізації чисельних методів у вигляді програмного забезпечення. Створення власного програмного забезпечення (рекомендована мова програмування – C++) є бажаним під час виконання обчислювального практикуму (із отриманням заохочувальних балів) і обов'язковим під час виконання курсової роботи із дисципліни. Також студенти отримують заохочувальні бали у разі використання розроблених ними програм іншими користувачами (одногрупниками).

Досвід викладання дисципліни «Обчислювальна математика» студентам другого року бакалаврської підготовки спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» дозволяє твердити наступне:

- концепція «чисельні методи як інструмент» надає майбутнім фахівцям знання про математичний апарат, алгоритми і обчислювальні схеми чисельних методів, методи і засоби автоматизації розрахунків, і це дає у подальшому змогу свідомо використовувати числові методи, правильно інтерпретувати результати розрахунків, створювати власні програмні комплекси прикладного призначення для інженерних розрахунків та наукових досліджень;
- цілі вивчення дисципліни включають, зокрема, набуття навичок свідомого вибору чисельних методів із множини альтернативних варіантів, стимулювання студентів до створення власного програмного забезпечення.

Результати обчислень					Ітерація				
Ітерація	x1	x2	x3	точність	x1	x2	x3	точність	
0	1,347884	1,335406	1,490501		0	1,347884	1,335406	1,490501	
1	1,079737	1,147307	1,1524	0,338101	1	=C17	=C18	=C19	
2	1,130842	1,187231	1,208596	0,056196	2	=F17	=F18	=F19	
3	1,121615	1,180118	1,197305	0,011292	3	=I17	=I18	=I19	
4	1,123392	1,181471	1,19933	0,002025	4	=L17	=L18	=L19	
5	1,123067	1,18122	1,198942	0,000388	5	=O17	=O18	=O19	
6	1,123129	1,181267	1,199014	7,15E-05	6	=R17	=R18	=R19	

Проведемо перевірку:

Матриця системи:

$$A := \begin{pmatrix} 22.68 & 1.92 & 2.36 \\ 2.23 & 30.56 & 1.84 \\ 3.17 & 4.13 & 28.95 \end{pmatrix}$$

Вектор вільних членів:

$$B := \begin{pmatrix} 30.57 \\ 40.81 \\ 43.15 \end{pmatrix}$$

Для знаходження системи скористаємося вбудованою функцією MathCAD **Isolve**:

`soln := Isolve(A, B)`

Відповідь:

$$\text{soln} = \begin{pmatrix} 1.123 \\ 1.181 \\ 1.199 \end{pmatrix}$$

Результати розрахунку вбудованими засобами MathCAD співпадають із отриманими методом ітерацій, отже, рішення вірне

в)

Рис. 3. Фрагмент практичної роботи із дисципліни «Обчислювальна математика» – розрахунок коренів СЛАР:

- а) аркуш MS Excel у режимі представлення результатів;
- б) аркуш MS Excel у режимі представлення формул;
- в) розрахунок коренів системи рівнянь убудованими засобами MathCAD

Наступне вдосконалення курсу пов'язане, насамперед, із подальшим впровадженням у процес навчання електронних навчальних матеріалів, технологій віддаленого навчання.

Література

1. Закон України «Про вищу освіту» від 2014 р. {Із змінами, внесеними згідно із Законами від ... 2015..2107 р.}: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1556-18>.
2. Бойко Т. В. До питання про планування навчального процесу підготовки бакалаврів за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Т. В. Бойко, Д. М. Складанний // Збірник наукових статей Четвертої міжнар. наук.-практ. конф. – Київ: НТУУ «КПІ», 2014. – С. 287-291.
3. Бойко Т. В. Дипломне проектування бакалаврів за спеціалізацією "Комп'ютерно-інтегровані технології сталих хімічних виробничих комплексів" / Т. В. Бойко,

- А. М. Шахновський, Ю. О. Безносик, С. Г. Бондаренко, О. М. Фоглер // Комп'ютерне моделювання в хімії і технологіях та системах сталого розвитку – КМХТ-2016: збірник наукових статей П'ятої міжнародної науково-практичної конференції, 18-20 травня 2016 року, м. Київ. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – С. 262-268.
4. *Бойко Т. В.* Структури наскрізної підготовки фахівців за спеціалізацією «Комп'ютерно-інтегровані технології сталих хімічних виробничих комплексів» / Т. В. Бойко, Д. М. Складанний, О. С. Бондаренко // Збірник наукових статей п'ятої міжнар. наук.-практ. конф. КМХТ 2016 – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – С. 258-261.
5. *Introduction to Numerical Methods – Course Syllabus.* Teacher: Dr. Plamen Koev. Massachusetts Institute of Technology. Academic Year: 2004/2005: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ocw.mit.edu/courses/mathematics/18-335j-introduction-to-numerical-methods-fall-2004/index.htm>.
6. *Numerical methods – Course Syllabus.* Field of study: Computer science. Teacher: Prof. Zbigniew Suraj, PhD, DSc. University of Rzeszów. Academic Year: 2016/2017: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.ur.edu.pl/file/77261/Numerical%20Methods.pdf.
7. *Numerical Methods Applied to Chemical Engineering – Course Syllabus.* Teacher: Prof. William Green, Jr., Prof. James W. Swan. Massachusetts Institute of Technology. Academic Year: 2015/2016: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ocw.mit.edu/courses/chemical-engineering/10-34-numerical-methods-applied-to-chemical-engineering-fall-2015/index.htm>.
8. *Вычислительная математика: содержание курса.* Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева. Кафедра информатики и компьютерного проектирования: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://icm.muctr.ru/study/maths/studyprogram2.html>.
9. *Очков В. Ф.* Преподавание математики и математические пакеты / В. Ф. Очков // Открытое образование. – 2013. – №2. – с. 27-33.
10. *Валько Н. В.* Формування обчислювальної культури студентів у контексті інформатизації освіти / Н. В. Валько, Л. В. Кузьмич // Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія “Педагогіка, соціальна робота“. – Випуск 27. – 2013. – с. 19-22.
11. *Шишкіна М. П.* Фундаменталізація навчання інформатичних дисциплін у сучасному високотехнологічному середовищі / М. П. Шишкіна, У. П. Когут // Інформаційні технології в освіті. – 2013. – Вип. 15. – С. 309-317.
12. *Ягафарова Х. Н.* Применение математических методов при формировании общеинженерных компетенций у студентов технических вузов / Х. Н. Ягафарова, А. И. Ямалтдинов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2015. – №2. – с. 477-490. – Режим доступу: <http://www.ogbus.ru>.
13. *Золотарёв Д. С.* Реализация численных методов в системе Matlab / Д. С. Золотарёв // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2015. – №2. – С. 496-498. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/realizatsiya-chislennyh-metodov-v-sisteme-matlab>.
14. *Статюха Г. А.* Базовые аспекты компьютерной подготовки по специальности «Компьютерно-интегрированные технологические процессы и производства» / Г. А. Статюха, А. А. Квитка, Л. Н. Бугаева, А. М. Шахновский // Комп'ютерне моделювання у хімії, технологіях і системах сталого розвитку: Збірник наукових статей третьої міжнар. наук.-практ. Конф.. Київ-Рубіжне (10-12 травня 2012 р.), 2012 – С. 257-259.