

УДК 530(072:004)

*Михайло Дудик,
кандидат фізико-математичних наук,
професор кафедри фізики і астрономії
та методики їх викладання
Уманського державного педагогічного
університету імені Павла Тичини*

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ПАКЕТУ ANSYS В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ З ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ

У статті досліджені можливості використання комп'ютерних систем кінцево-елементного аналізу у навчальному процесі з теоретичної фізики. Здійснено порівняльний аналіз різних сучасних кінцево-елементних комплексів та обґрунтовано вибір для навчальних цілей програмного комплексу Ansys. Визначено шляхи і форми використання комплексу Ansys у навчанні фізики у вищих навчальних закладах. Описано дидактичний супровід і методика використання програмного комплексу Ansys у викладанні окремих розділів теоретичної фізики.

Ключові слова: *комп'ютерне моделювання, комп'ютерні технології навчання, методика навчання фізики, теоретична фізика, метод кінцевих елементів, кінцево-елементний комплекс Ansys.*

The possibilities of usage the computer systems of finite-element analysis in teaching theoretical physics in the educational process are investigated in the article. The comparative analysis of different modern finite-element complexes has been carried out. The choice of Ansys programme complex for educational aims has been substantiated. Criteria of the widest coverage of different sections of physics and the availability of the academic version of the program and educational literature have been set as a principle. The ways and forms of using Ansys complex in teaching physics at higher educational institutions have been determined. The list of tentative themes for theoretical physics practical studies where the usage of Ansys complex can be effective have been suggested. Didactics instructions and the methods of using Ansys programme complex in teaching some sections of theoretical physics have been described.

Key words: *computer simulation, computer technologies of teaching, methods of teaching of physics, theoretical physics, finite element method, finite-element complex Ansys.*

У сучасній науці і техніці значного поширення набув такий потужний метод досліджень, як комп'ютерне моделювання, який дозволяє вивчати властивості і поведінку реальних об'єктів за допомогою побудови відповідних математично-комп'ютерних моделей і використання належних числових методів їх обрахунків. Успішне застосування методу комп'ютерного моделювання в природничо-математичних науках спонукало до його впровадження у навчальний процес з фізики, математики та інших дисциплін. З цією метою впродовж кількох останніх десятиліть зусиллями освітян було створено чимало педагогічних програмних засобів, які адаптували можливості методу комп'ютерного моделювання до потреб навчального процесу. Прості у використанні, з належним методичним супроводом, який допускав їх самостійне освоєння, вони досягли значного поширення в освітньому середовищі, особливо в середніх загальноосвітніх закладах.

Разом з тим, у природничо-наукових дослідженнях широко використовуються потужні спеціалізовані програми, призначені для розв'язування задач певного класу. Вони мають досить високу вартість, проте розробники цих програм з метою ознайомлення з ними потенційних користувачів і заради перспективи їх наступного комерційного поширення пропонують університетам полегшені безкоштовні академічні версії з обмеженими можливостями, роблячи ці програми доступними для студентів і викладачів. Впровадження таких програм у навчальний процес є важливим завданням вищих навчальних закладів, оскільки його розв'язання сприяє більш якісній підготовці випускників, здатних до фахового використання спеціалізованих програмних засобів у їх наступній професійній діяльності. У зв'язку з цим актуальною проблемою педагогічної науки є розробка методики вивчення спеціалізованих комп'ютерних програм як для природничо-наукових досліджень, так і в навчальних цілях.

У педагогічній науці за останні десятиліття виконано значну кількість досліджень, присвячених проблемам методики вивчення фізики в умовах системного використання нових інформаційних технологій (НІТ), які базуються на електронних засобах опрацювання та поширення інформації. Значний вклад у цьому напрямку внесли вітчизняні вчені Анциферов Л. І., Бугайов І. О., Бурсіан Е. В., Гончаренко С. У., Жалдак М. І., Желюк О. М., Жук Ю. В., Коношевський Л. Л., Кременський Б. Г., Маланюк П. М., Мартинюк О. С., Сумський В. І., Пустинникова І. М., Яценко Т. М. та ін.

Одним з ефективних напрямків підвищення ефективності навчання природничо-математичних дисциплін засобами НІТ є застосування методу комп'ютерного моделювання. Питання впровадження методу комп'ютерного моделювання у вищих навчальних закладах вивчали

С. Архангельський, В. Гриценко, В. Міхеєв, В. Муляр, А. Свиридов, Н. Сосницька, І. Теплицький, Й. Турбович, М. Фокін, Т. Яценко та інші вчені.

Зі стрімким розвитком і поширенням у суспільстві електронних інформаційних засобів та технологій, який ми спостерігаємо сьогодні, можливості застосування методу комп'ютерного моделювання у вищій освіті зростають, а отже, і надалі зберігає свою актуальність проблема забезпечення навчального процесу новими моделюючими програмами та методиками їх ефективного використання.

Більшість моделюючих комп'ютерних програм, про які йшла мова в роботах вище згаданих науковців, були розроблені спеціально для потреб освітнього процесу. Їх перевагою є відповідність навчальним програмам з фізики у школі або ЗВО та адаптація до вікових особливостей учнів і студентів. Але у вищій освіті існує також потреба ознайомлення студентів зі спеціалізованими програмними засобами, які є робочим інструментом фахівця у відповідній галузі, і тому володіння ними постає нагальною вимогою до молодого спеціаліста – випускника закладу вищої освіти.

Проте, педагогічні дослідження з питань вивчення таких програм зустрічаються доволі рідко. Переважна більшість публікацій присвячені вивченню та застосуванню у навчальному процесі з фізики таких універсальних математичних пакетів, як Mathcad, систем комп'ютерної алгебри Mathematica, Maple тощо, які мають досить широкі можливості реалізації багатого математичного апарату сучасної фізики, зокрема, методів розв'язування систем лінійних і нелінійних алгебраїчних або звичайних диференціальних рівнянь, чисельного і символічного диференціювання та інтегрування та ін. Прикладами таких досліджень є роботи Войтенко Т. Ю. і Філер А. В. [4], Ковальчук М. Б. [3], Корнійчук О. Е. [5], Коробейнікова А. Г. та ін. [4], Турінова А. М. і Галдіної О. М. [7]. Значно менше уваги освітяни приділяють так званім «важким» математичним програмним комплексам, призначеним для числового розв'язування систем рівнянь в частинних похідних. До таких програмних засобів відноситься, зокрема, комплекс кінцево-елементного аналізу Ansys [6].

Серед науковців у галузі фізики і техніки, інженерів і конструкторів великою популярністю користується програмний комплекс кінцево-елементного аналізу Ansys. Володіючи потужними можливостями числового розв'язування рівнянь математичної фізики, він знайшов широке застосування в аналізі актуальних науково-технічних задач механіки, електродинаміки, теплотехніки тощо та має хороші перспективи впровадження у процес викладання відповідних навчальних дисциплін у вищих навчальних закладах.

На сьогоднішній день методик вивчення кінцево-елементного

комплексу Ansys та його використання в навчальному процесі бракує. Існують розв'язки окремих задач, викладені в Інтернеті, книги, що дають опис даного програмного комплексу та правила роботи з ним при розв'язанні різноманітних науково-технічних задач, але немає системного дослідження шляхів і методів застосування Ansys у навчанні. У зв'язку з цим актуальною є розробка належного дидактичного і методичного забезпечення навчання студентів використанню програм кінцево-елементного аналізу у своїх галузях, зокрема, з теоретичної фізики у підготовці вчителів фізики. Метою даної роботи є дослідження можливостей використання програми Ansys у викладанні теоретичної фізики та визначення шляхів і форм впровадження комплексу Ansys у навчання фізики у вищих навчальних закладах.

1. Аналіз сучасних кінцево-елементних програм. Оскільки більшість фізичних і технічних об'єктів, процесів і явищ описуються складними нелінійними диференціальними рівняннями в частинних похідних, а врахування всіх актуальних для них факторів значно ускладнює процес їх аналітичного розв'язання, дослідникам часто виявляється неможливо обійтись без спеціалізованих або універсальних програм, які дозволяють розв'язувати ці рівняння числовими методами за допомогою сучасної обчислювальної техніки. Велике коло різноманітних процесів і явищ може бути розглянуто за допомогою методу кінцево-елементного моделювання, який став дуже поширеним в якості успішного математичного інструменту у дослідженнях в різних галузях науки. Його використання дозволяє замінити натурний експеримент, а отримувані з його допомогою результати дають можливість передбачити можливі ефекти у реальних об'єктах.

Для полегшення виконання кінцево-елементного аналізу було розроблено велику кількість програмних комплексів. Вперше програмні комплекси, в яких реалізовано метод кінцевих елементів (МКЕ), з'явилися у 60-х роках минулого століття після появи високопродуктивних електронно-обчислювальних машин. Стрімкий розвиток потужності обчислювальної техніки та необхідність у проведенні громіздких математичних розрахунків при розв'язанні складних технічних задач стимулювали подальший розвиток МКЕ та сприяли подальшому розвитку вже створених програмних комплексів і розробці нових. Як наслідок, були розроблені численні програмні продукти, призначені для розв'язання за допомогою МКЕ різноманітних задач в області механіки деформованого твердого тіла, гідродинаміки, акустики, електротехніки, теплотехніки тощо. Найбільшого поширення з них набули: Abacus, Adina, Ansys, CFD-ACE+, Comsol Multiphysic, Eufemi, Femap, Fluent, Hercule, LS-DYNA Magmasoft, Marc, Modulef, MSC Nastran, NeiNastran, NX Nastran, Samcef, T-Flex, SAP-7 та інші. До їхніх переваг відносяться реалізація

найефективніших числових алгоритмів МКЕ та наявність розвиненого набору сервісних функцій з підготовки початкових даних і обробки результатів розрахунку.

Вибір програмного комплексу МКЕ для навчальних цілей здійснимо на основі порівняння їх можливостей. Використовуючи результати дослідження різноманітних комплексів МКЕ Васільєва В. А. і Калмикової М. А [1], проаналізуємо найбільш поширені з них. Загальні характеристики комплексів приведені в таблиці 1. При відборі програм до таблиці ми орієнтувались на програми з максимально широкими функціональними можливостями.

Таблиця 1

Характеристики поширених програмних комплексів МКЕ

Типи задач	Назва програми												
	Comsol Multiphysic	Ansys	MSC Nastran	Abacus	NeiNastran	NX Nastran	Samcef	Femap	Fluent	T-Flex	MagmaSoft	CFD-ACE+	
Статичний аналіз	+	+	+	+		+	+	+		+			
Динамічний аналіз	+	+	+	+	+	+	+	+					
Частотний аналіз			+	+	+	+	+	+		+			
Тепловий аналіз	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Розрахунок пружності	+	+	+		+	+	+			+	+		
Розрахунок на міцність	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
Аналіз НДС	+	+	+			+					+		
Розв'язання задач механіки і динаміки рідини і газу	+	+	+		+	+		+	+			+	
Розв'язання задач електродинаміки	+	+	+	+			+		+				
Розв'язання задач електромагнетизму	+	+											
Моделювання хімічних систем	+	+							+			+	
Розв'язання задач акустики	+	+	+	+	+	+			+				
Аналіз кінематики							+						
Аналіз гідро- і аеродинаміки	+	+	+	+				+	+				

В таблиці приведено лише ключові можливості проаналізованих програм. Аналіз таблиці показує, що найбільшими потужностями володіють комплекси Comsol Multiphysic, Ansys і MSC Nastran. Вони не

обмежуються виключно колом інженерних задач механіки деформівного твердого тіла, але й дозволяють розв'язувати за допомогою МКЕ системи диференціальних рівнянь в частинних похідних в одному, двох і трьох вимірах, статичні і динамічні задачі електродинаміки, термодинаміки, динаміки рідин і газів, акустики. Вибрані програмні комплекси МКЕ є привабливими для моделювання численних фізичних процесів, зокрема, явища дифузії, переносу маси і енергії з урахуванням кінетики хімічних реакцій, електромагнітних взаємодій і процесів теплопередачі тощо.

Комплекси Ansys, Comsol Multiphysic, MSC Nastran мають зрозумілий і зручний інтерфейс користувача, що спирається на традиційні технології операційної системи Windows. Вони супроводжуються підтримкою фірм-розробників, мережею дистанційних курсів, on-line семінарів тощо при розвинутій системі внутрішньої допомоги. Для студентів фірми пропонують безкоштовні академічні версії програм або версії з обмеженим часом користування.

В цілому, програмні комплекси МКЕ Ansys, Comsol Multiphysic, MSC Nastran, які лідирують серед інших за своїми функціональними можливостями, можна вважати рівносильними, і будь-який з них може бути рекомендований для використання в навчальному процесі у підготовці фізиків, математиків, інженерів та інших фахівців, що потребуватимуть у своїй професійній діяльності розробку і дослідження моделей фізичних процесів, реалізованих у вказаних програмах. Базуючись на критеріях найбільшого охоплення різних розділів фізики, наявності безкоштовної академічної версії програми та навчальної літератури, ми зупиняємо свій вибір на комплексі Ansys, зокрема і через більш багатий досвід його використання у вітчизняній вищій освіті порівняно з іншими комплексами та наявністю досить великої кількості посібників до нього.

2. Методика впровадження Ansys в навчальний процес. Програмний комплекс МКЕ Ansys характеризується потужністю, універсальністю, можливістю застосування в найрізноманітніших галузях природознавства і техніки. Володіння ним дає потужний інструмент і науковому досліднику, і інженеру-проектанту. Разом з тим, можна очікувати, що використання цього програмного засобу може також якісно поліпшити підготовку вчителів фізики, математики і інформатики у вищих педагогічних навчальних закладах.

Вивченню програмного комплексу Ansys бажано присвятити окремий спецкурс, який дав би студентам більш повне уявлення про його широкі можливості. Володіння такою програмою озброїло б випускників вищих навчальних закладів з фізико-математичних спеціальностей потужним інструментом розв'язування численних фундаментальних і прикладних науково-технічних задач. Проте, в рамках педагогічного вузу, в якому підготовка майбутнього вчителя обтяжена багатьма обов'язковими

навчальними дисциплінами та різноманітними курсами за вибором, важко знайти достатньо часу на поглиблене вивчення цього непростого програмного засобу, застосування якого в школі по суті ще й не починалось.

Ми вбачаємо більш прийнятним підхід, коли ознайомлення з програмним комплексом Ansys здійснюватиметься під час його використання в рамках однієї з навчальних дисциплін при вивченні підходящих тем. У підготовці вчителя фізики такою дисципліною, де використання Ansys в силу особливостей розв'язуваних в ній задач може бути ефективним, є курс теоретичної фізики.

Вивчення можливостей програми Ansys пропонуємо без традиційних загальнотеоретичних вступів, викладення основ функціонування програми, елементів її інтерфейсу та іншого, що займає багато навчального часу, але особливої потреби у цьому немає. Методи роботи з програмою Ansys пропонуємо вивчати одразу на конкретних прикладах. Зрозуміло, що студент повинен на момент розгляду певної задачі за допомогою Ansys мати відповідну підготовку з фізики, тому розв'язання тієї чи іншої задачі має прив'язуватись до вивчення відповідного розділу або теми, і не пов'язуватись з вивченням курсу інформатики.

Студенти на час викладання теоретичної фізики – а це третій і четвертий курси навчання в університеті – вже достатньо впевнено володіють комп'ютером, вивчили математичні методи фізики, зокрема, типові диференціальні рівняння фізики в частинних похідних. Це робить обґрунтованим швидке введення їх у основи роботи з програмою Ansys на прикладі розв'язування під час занять окремих фізичних задач. Оскільки кількість таких можливих задач дуже велика, і затрати навчального часу на розв'язання кожної з них засобами Ansys також значні, доцільно в курсі теоретичної фізики обмежитись лише кількома задачами з наступних причин: по-перше, розв'язування задач числовими методами за допомогою Ansys не повинно замінити собою оволодіння студентами типовими методами теоретичної фізики; по-друге, основною метою є ознайомлення студентів з можливостями кінцево-елементного комплексу Ansys для розв'язування задач теоретичної фізики прикладного спрямування, а не глибоке вивчення самого комплексу.

Для проведення першого заняття з використанням Ansys викладачу доцільно заздалегідь підготувати розв'язок запланованої задачі на комп'ютері. Хід заняття повинен містити фізичну постановку задачі, зведення її розв'язання до диференціального рівняння або системи рівнянь в частинних похідних, задання граничних умов і матеріальних сталих тощо. Після цього викладач демонструє готовий розв'язок задачі в Ansys, показує й роз'яснює хід його отримання та пропонує студентам провести

коротке дослідження кінцевих результатів, змінюючи умови задачі. Для набуття основних навичок роботи студенти в Ansys повторюють розв'язання задачі самостійно за підготовленими детальною інструкцією під контролем і при підтримці викладача. Для закріплення набутих навичок студентам можна запропонувати розв'язати схожі задачі з незначними змінами конфігурації досліджуваних об'єктів і граничних умов. В подальшому на практичних заняттях при вивченні інших тем використання готових розв'язків задач в Ansys не є обов'язковим. Аналізуючи зміст курсу теоретичної фізики як навчальної дисципліни в підготовці майбутніх вчителів фізики, можна запропонувати такі теми практичних занять: «Напружено-деформований стан деформівного твердого тіла», «Ламінарний плин рідини по трубах змінного перерізу», «Електростатичне поле заряджених провідників і діелектриків», «Магнітне поле постійних магнітів», «Розподіл температур у тілі» та інші. При належному методичному супроводі розв'язування задач за допомогою Ansys може бути винесене на самостійне опрацювання.

Демонстрація можливостей програмного комплексу Ansys при розв'язуванні задач теоретичної фізики дозволить зацікавити студентів даним програмним продуктом і таким чином підштовхне їх до його подальшого самостійного поглибленого вивчення. Вона також сприятиме розширенню й поглибленню теоретичних знань і практичних навичок студентів з багатьох навчальних дисциплін та підвищенню рівня їх практичної підготовки.

Виконано порівняльний аналіз можливостей поширених сучасних комп'ютерних систем кінцево-елементного аналізу та обґрунтовано вибір однієї з них – а саме Ansys – для використання у навчальному процесі. Визначено форми і засоби використання програмного комплексу Ansys для розв'язування задач з теоретичної фізики. Запропоновано перелік орієнтовних тем практичних занять з теоретичної фізики, на яких використання комплексу Ansys може бути ефективним. Подальші дослідження полягатимуть у розробці та дослідженні ефективності методичних вказівок до практичних занять з теоретичної фізики з використанням програмного комплексу Ansys.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васильев В. А. Анализ и выбор программных продуктов для решения инженерных задач приборостроения [Электронный ресурс] / В. А. Васильев, М. А. Калмыкова // Электронный научно-практический журнал «Современная техника и технологии». – Режим доступа : technology.snauka.ru/2013/03/1702
2. Войтенко Т. Ю. Применение системы Mathematica в обучении теории

- чисел / Т. Ю. Войтенко, А. В. Фирер // Информатика и образование. – 2015. – № 2.
3. Ковальчук М. Б. Розв'язування задач математичної фізики у середовищі Maple / М. Б. Ковальчук // Фізико-математична освіта : науковий журнал. – 2017. – Вип. 1(11). – С. 56–61.
 4. Применение системы компьютерной алгебры maple в обучении проектированию и анализу многомерных математических моделей / А. Г. Коробейников, И. Б. Ахапкина, Н. В. Безрук та ін. // Информатика и образование. – 2014. – № 4.
 5. Корнійчук О. Е. Вивчення похідної разом із Maple / О. Е. Корнійчук // Фізико-математична освіта : науковий журнал. – 2016. – Вип. 3(9). – С. 61–69.
 6. Носкова О. Е. Прикладные программы при изучении общетехнических дисциплин / О. Е. Носкова, М. М. Манушкина // Информатика и образование. – 2017. – № 2.
 7. Турінов А. М. Використання комп'ютерного моделювання при розв'язанні квантовомеханічних задач / А. М. Турінов, О. М. Галдіна // Фізико-математична освіта : науковий журнал. – 2017. – Вип. 3(13). – С. 170–177.