

УДК 536.24, 532.5, 519.6, 008.2, 004.416

О. В. Хамініч, Д. В. Євдокимов

DOI: 10.15421/372002

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара***ЛЮДИНОЦЕНТРОВАНІ ПРИНЦИПИ В НАУЦІ ТА ЇХ ВТІЛЕННЯ
ПРОТЯГОМ ЖИТТЯ**

The work is devoted to the historical analysis of the development of computational heat and mass transfer on the example of the scientific path of Professor O.O. Kochubey and the development of the Dnipro Thermophysics School in general, revealed stable trends and identifying promising areas of basic and applied research in relevant fields.

Almost all of Oleksandr Oleksiyovych's scientific and teaching life, except for a few years in the mid-1990s, was associated with the Department of Applied Gas Dynamics and Heat and Mass Transfer, where he formed as a scientist, where he established a scientific school. He was the head of this department from 2005 till 2014 (since 2010 the joint department of aerohydrodynamics and energy and mass transfer), despite the terrible employment in the administration, he found time to solved departmental problems, he personally led research at the department, until recently headed the scientific work of graduate students.

Oleksandr Kochubey devoted the last more than twenty years of his life mainly to organizational and administrative activities in various positions. The most famous, of course, is his activity as the first vice-rector of the Oles Honchar Dnipro National University, where he achieved no less success than in scientific activity. This aspect of Oleksandr Oleksiyovych's life and work deserves a separate analysis. Here we would just like to note that the name of Professor O.O. Kochubey during the whole time of his work was not associated with any intrigue or scandal. Another feature of Oleksandr Oleksiyovych's character, which is mentioned by literally everyone, is his attentive and friendly attitude to people, his attempt to help everyone who turned to him.

The memoirs offered here about an outstanding man - Oleksandr Oleksiyovych Kochubey - concern, first of all, his personality and personal scientific path; apparently, it is not the city to analyze the history of the development of scientific schools and compare them with similar histories of the development of science in other institutions close in direction. But the authors believe that there is no better way to ensure the further progress of science than to analyze the success story and continue the tradition of scientific achievements.

Key words: hydrodynamics, numerical methods, computational potential, discrete singularities

Вступ. Сучасні досягнення та здобутки у галузі математичного та комп'ютерного моделювання, гідродинаміки та теорії тепломасообміну, становлення відомих наукових шкіл та поява видатних науковців потребують детального аналізу та історичного заглиблення у витoki для розуміння їх феноменів. До когорти видатних вітчизняних вчених та унікальних особистостей можна безумовно включити і доктора фізико-математичних наук, професора Олександра Олексійовича Кочубея, який свою наукову діяльність довгі роки поєднував з інноваційною роботою на посаді першого проректора Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Багато років Олександр Олексійович залишався безумовним лідером наукової школи з обчислювального тепломасообміну, фактичним фундатором якої він був, та одним з очільників наукової школи у галузі обчислювальної гідромеханіки.

Аналіз сучасного стану питання. На поточний момент Дніпровська наукова школа у галузі обчислювальної гідромеханіки переживає не кращі часи, тому представляється доцільним та своєчасним проаналізувати науковий шлях і досвід провідного науковця, який належав до зазначеної школи, а також вшанувати пам'ять цієї видатної людини. Автори цих спогадів сподіваються, що аналіз безумовних успіхів у минулому, пов'язаних з іменем Олександра Олексійовича Кочубея, сприятиме відродженню та подальшому розвитку зазначеної наукової школи, особливо в тій її частині, що стосується обчислювального тепломасообміну. Треба зазначити, що це не перша спроба такого аналізу: його було розпочато ще за життя Олександра Олексійовича та за його безпосередньої участі [1], а потім продовжено вже після його смерті [2, 3].

Мета роботи. Метою даного дослідження являється історичний аналіз розвитку обчислювального тепломасообміну на прикладі наукового шляху професора О. О. Кочубея та розвитку Дніпровської школи теплофізики в цілому, виявлення стійких тенденцій розвитку та визначення перспективних напрямків фундаментальних та прикладних досліджень у релевантних областях.

Коротка історія Дніпровської школи теплофізики. Заради повноти викладення питання розпочати такий аналіз доцільно з загальної історії наукової школи, до якої належав професор О. О. Кочубей. Наведемо аспекти історії наукової школи Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара у галузі аерогідромеханіки та тепломасообміну згідно роботи [1] з певними скороченнями.

Загальновідомо, що виникнення нових напрямків у техніці та промислових технологіях стимулює швидкий розвиток пов'язаних з ними областей прикладної чи фундаментальної науки. Дуже яскравим прикладом цієї закономірності щодо аерогідромеханіки та тепломасообміну, про який мова піде далі, може служити виникнення у середині минулого сторіччя ракетно-космічної техніки та пов'язані з ним створення й подальший розвиток теоретичних, науково-технічних та проектно-конструкторських засад розробки та виготовлення ракетних двигунів рідинного та твердого палива, систем паливних баків ракет на рідинному паливі, систем теплового захисту апаратів, що повертаються з орбіти, а також орбітальних ракетно-космічних систем та значної частини наукового обладнання, яке на них встановлено. Саме у Дніпропетровську в 50-ті – 60-ті роки ХХ століття була створена одна з найпотужніших у світі промислових баз для виготовлення ракетно-космічної техніки та пов'язаних з нею систем – Південний машинобудівний завод, а при ньому Конструкторське бюро, яке теж з часом отримало назву Південне. Зрозуміло, що організація настільки великого наукоємного виробництва вимагала відповідної негайної організації місцевої системи підготовки кадрів високої кваліфікації, а також максимально наближеної до виробництва системи наукового забезпечення проектно-конструкторських розробок. Практично одночасно зі створенням Південного машинобудівного заводу та Конструкторського бюро «Південне» задачі підготовки кадрів та наукового забезпечення були покладені на Дніпропетровський державний університет, де було створено фізико-технічний факультет, а також залучено до відповідних робіт провідних фахівців інших факультетів університету. Спочатку на фізико-технічному факультеті було дві кафедри, одна з яких (кафедра № 2) займалася підготовкою фахівців та науковими

дослідженнями у галузі ракетних двигунів, тобто переважно науковими дослідженнями з питань теплофізики та теплотехніки, які пов'язані з роботою ракетного двигуна [1]. За спогадами учасників тих подій на початковому етапі розвитку ракетно-космічної техніки їх у буквальному сенсі накрила величезна хвиля як нових, так й традиційних задач. Практично не було дня, щоб не виникала нова задача теплового розрахунку, аеродинаміки, гідравліки чи пневматики (а, як відомо, у ракетній техніці ці дисципліни тісно пов'язані). Поступово склався певний розподіл обов'язків, згідно якому термінові, невідкладні розрахунки, дослідження та випробування проводили фахівці з КБ «Південне», а розробку методики, тривалі дослідження, в яких потрібно було розробляти теоретичну базу, взяли на себе співробітники університету.

Одним з перших безумовних успіхів науковців університету у справі створення та вдосконалювання ракетно-космічної техніки стала розробка конструкції та теоретичних засад функціонування систем наддуву паливних баків ракет на рідинному паливі, що мало принципове значення для забезпечення стабільної роботи ракетного двигуна під час польоту. Провідним автором цього циклу досліджень був молодий науковець, інженер, а потім асистент кафедри № 2 фізико-технічного факультету Дніпропетровського університету Микола Михайлович Біляєв (1928 – 1997). Згодом зазначені результати стали основою кандидатської та докторської дисертацій М. М. Біляєва. Проблема, на перший погляд, виглядала цілком очевидною та, навіть, простою [1]: оскільки кількість палива у баках змінюється під час польоту, а перевантаження збільшується, треба визначити польотний режим наддуву таким чином, щоб тиск на виході з магістралі живлення ракетного двигуна (перед турбонасосним агрегатом) постійно дорівнював заданій оптимальній величині. Однак процес наддуву паливного баку, котрий розглядався, не міг бути описаний в рамках класичної термодинаміки, а вимагав застосування принципів та підходів термодинаміки незворотних процесів. Але у другій половині 50-их років минулого сторіччя термодинаміка незворотних процесів знаходилася у зародковому стані, а видатні творці цієї науки – Ілля Пригожін та Ларс Онзагер – ще не отримали за це Нобелівських премій. Таким чином, для того, щоб розв'язати поставлену задачу, асистент кафедри № 2 фізико-технічного факультету М. М. Біляєв самотужки розробив оригінальний напрямок термодинаміки незворотних процесів – термодинаміку змінної кількості газу. Це, безумовно був визначний успіх, який залишився практично невідомим для широкої наукової спільноти через режим секретності, що безперечно панував у всій ракетно-космічній галузі Радянського Союзу [1]. Цей результат надав професору М. М. Біляєву переконання в ефективності суто наукового теоретичного підходу та впевненості в ефективності методів, які у наш час називаються математичним моделюванням. Прямим наслідком такого висновку стало прагнення Миколи Михайловича створити спеціалізовану кафедру, яка б мала справу з теоретичними питаннями теорії тепломасообміну та внутрішньої гідроаеродинаміки. Справедливості заради слід зазначити, що приблизно у той же час ще двом провідним професорам фізико-технічного факультету В. М. Ковтуненко та В. І. Моссаковському прийшли аналогічні ідеї. Місцем перебування нових кафедр було обрано механіко-математичний факультет, оскільки саме математичні методи

представлялися основним інструментом прискорення розвитку ракетно-космічної техніки, а Конструкторське бюро «Південне» постійно потребувало велику кількість нових фахівців, котрі спеціалізувалися б на механічному, гідроаеродинамічному та тепловому розрахунку. Так на механіко-математичному факультеті виник вельми потужний механічний напрямок. Досить швидко стало ясно, що це було не просто вірне, а й дуже своєчасне та ефективне рішення. Накопичена велика кількість складних прикладних задач, які не вдавалося розв'язати стандартними інженерними методами, але які були підкріплені практично необмеженими фінансовими можливостями замовників, забезпечила швидкий, можна сказати бурхливий, науковий розвиток нових кафедр, з іншого боку, існував постійний великий попит на випускників відповідних спеціальностей, як правило, кількість замовлень на випускників перевищувала їх реальну кількість в 2-3 рази. Таким чином, на початок 70-х років минулого сторіччя на механіко-математичному факультеті Дніпропетровського державного університету склалася дуже сприятлива обстановка для отримання освіти та наукової діяльності.

Щодо початку 70-х років у Дніпропетровському університеті треба згадати ще одну принципову тенденцію розвитку, яка було пов'язана з корисною та плідною ініціативою Володимира Івановича Моссаковського, який того часу був ректором університету, щодо широкого впровадження в навчальний процес та в наукові дослідження електронно-обчислювальної техніки, а також методів, які на теперішній час в світі визначені як методи математичного та чисельного моделювання. Завдяки цій ініціативі університет швидко опинився регіональним лідером у даній галузі і досі утримує цю позицію, незважаючи на всі проблеми та негаразди, що зазнавала та зазнає вища школа України. Ці питання розглянемо тут згідно до роботи [3]. У ході реалізації цієї ініціативи академіка В. І. Моссаковського досить швидко з'ясувалося, що розв'язання прикладних задач за допомогою електронно-обчислювальної техніки – це новий, зовсім інший спосіб професійного мислення. Для викладачів та науковців класичної школи важко було опановувати нові розрахункові підходи, проте молоді фахівці та навіть студенти демонстрували неабиякі успіхи у цьому напрямку. З часом виникла певна лінія розподілу між обчислювачами, з одного боку, та аналітиками й експериментаторами, з іншого. Перші випуски, у яких були обчислювачі, у Дніпропетровському університеті прийшлися на початок 70-их років минулого сторіччя, а всього десять років потому обчислювачі складали більшість у випусках механічних спеціальностей. Як результат на механіко-математичному факультеті була створена нова спеціальність «Прикладна математика», а курси з програмування та використання електронно-обчислювальної техніки склали суттєву частину навчальної підготовки. Навіть при бурхливих темпах зростання, притаманних комп'ютерній галузі, такий прогрес представляється надзвичайним. Зрозуміло, що цей успіх забезпечили не тільки воля та зусилля академіка В. І. Моссаковського, а й наполеглива багаторічна творча праця численних ентузіастів, об'єднаних ідеєю чисельного моделювання [3].

Тут треба пояснити, що на початкових етапах розвитку електронно-обчислювальної техніки потужність останньої була настільки низька, що з точки зору змісту та глибини отриманих результатів, вони значно поступалися

аналогічним розв'язкам, отриманим аналітичними чи наближеними методами. Більш того, мала потужність обчислювальної техніки змушувала практично для кожної задачі розробляти спеціальний алгоритм, який дозволив би зекономити комп'ютерний час та необхідну пам'ять електронно-обчислювальної машини, внаслідок чого процес розв'язання нових задач значно уповільнювався за рахунок часу, витраченого на розробку чи вдосконалення алгоритму та відповідне програмування. Саме з тих часів у професійному середовищі залишилася думка про те, що аналітичний розв'язок більш цінний, ніж чисельний, хоча результати розрахунків на сучасній надпотужній обчислювальній техніці давно спростували це твердження. Однак у 70 – 80-ті роки минулого сторіччя до таких успіхів було ще дуже далеко, а першим програмістам потрібна була непохитлива віра у майбутнє обчислювального напрямку [3].

Одним з найбільш вражаючих успіхів процесу комп'ютеризації Дніпропетровського університету виявився феномен кафедри прикладної газової динаміки і тепломасообміну (ПГД і ТМО) [1]. У роки, про які йдеться мова, саме цю кафедру очолював тоді кандидат технічних наук, доцент, а згодом доктор технічних наук, лауреат державної премії України, академік Міжнародної академії астронавтики, заслужений діяч науки і техніки України, професор Микола Михайлович Біляєв. Як це не дивно, але професор М. М. Біляєв особисто був людиною дуже далекою від електронно-обчислювальної техніки, розмови про необхідність вживати програмування у навчальному процесі та у наукових дослідженнях завжди викликали в нього не більш, ніж усмішку, але всі, хто знав Миколу Михайловича, відмічали його надзвичайну, можна сказати феноменальну, наукову інтуїцію. Саме ця вражаюча наукова інтуїція допомогла професору М. М. Біляєву побачити перспективи нового напрямку [3].

Феномен обчислювального прориву кафедри прикладної газової динаміки і тепломасообміну пов'язаний, у першу чергу, з іменами чотирьох науковців: це Володимир Юрійович Безуглий, Віктор Кузьмич Хрущ, Олександр Анатолійович Приходько та Олександр Олексійович Кочубей [1, 3]. Всі ці люди були приблизно одного віку, всі вони були випускниками кафедри, всі вони, розпочавши практично з нуля, у найкоротший термін стали провідними фахівцями світового рівня у галузі математичного та чисельного моделювання течій рідини та газу й процесів тепломасообміну. На жаль, всі вони рано пішли з життя через онкологічні хвороби, не встигнувши реалізувати амбітні наукові плани. На перший погляд, це здається дивом, що протягом відносно короткого проміжку часу на невеликій кафедрі університету союзного значення з'явилися чотири провідних фахівця, що працювали на рівні кращих наукових центрів не тільки Радянського Союзу, а й у цілому в світі. Насправді, можна назвати три причини такого успіху [3]:

– на момент виникнення обчислювальної гідромеханіки сама механіка рідини та газу була вже досить розвинутою наукою зі сформованими напрямками досліджень, отже застосування чисельного моделювання до аерогідромеханіки пропонувало, скоріше, новий погляд на вже існуючі напрямки та відомі проблеми. Проблематика наукових досліджень кафедри ПГД і ТМО була надзвичайно широкою, внаслідок чого перші кроки із застосування чисельного моделювання були зроблені в дуже сприятливих умовах;

– наукові дослідження тих часів добре фінансувалися завдяки зв'язкам з Конструкторським бюро «Південне» та іншими науковими і проектними організаціями колишнього Радянського Союзу;

– випускники спеціальності «гідроаеродинаміка» отримували ґрунтовну та збалансовану професійну освіту. Наприклад, математику вони знали на рівні професійних математиків, а згадані науковці ще й мали феноменальну математичну ерудицію, студенти глибоко вивчали механіку та гідромеханіку, а про програмування не варто й казати. Ще одним принциповим моментом освіти на кафедрі ПГД і ТМО було інтенсивне вивчення теорії тепломасообміну. Результатом такого широкого профілю навчання ставало формування унікальних фахівців у галузі механіки рідини та газу, а також теорії тепломасообміну. Дуже прикро, що у сучасній вищій школі України втрачено цей досвід.

Окрім зазначених об'єктивних обставин, що сприяли науковому прориву на кафедрі, треба згадати ще й суб'єктивні моменти:

– загальну доброзичливу атмосферу на кафедрі;

– поведінку завідувача кафедри професора М. М. Біляєва як менеджера, який постійно шукав додаткові кошти, нові тематики та напрямки досліджень, навіть якщо особисто йому вони були нецікаві;

– тісні контакти з «відкритою» наукою, що було зовсім неприйнятним для оборонних досліджень у Радянському Союзі.

Науковий шлях професора О. О. Кочубея. Сьогодні ми згадуємо про одного з названих науковців – заслуженого діяча науки і техніки України, доктора фізико-математичних наук, професора Олександра Олексійовича Кочубея – наймолодшого з цієї четвірки та останнього з них, хто пішов з життя наприкінці грудня 2018 року. На поточний момент Дніпровська наукова школа у галузі обчислювальної гідромеханіки, одним з фундаторів якої був професор О. О. Кочубей, переживає не кращі часи, тому представляється доцільним та своєчасним проаналізувати науковий шлях і досвід провідного науковця, який належав до зазначеної школи, а також вшанувати пам'ять цієї видатної людини.

Олександр Олексійович Кочубей вступив на перший курс спеціальності «гідроаеродинаміка» механіко-математичного факультету Дніпропетровського державного університету в 1970 році, а закінчив університет з відзнакою у 1975 році [3]. З самого початку студентських років проявилися його блискучі здібності до навчання – відмінник, ленінський стипендіат, а також лідерські якості – член комітету комсомолу, безумовний інтелектуальний лідер своєї групи та свого курсу. Саме у студентські роки почалася співпраця молодого Олександра Кочубея з тоді кандидатом фізико-математичних наук, доцентом, доктором технічних наук, професором Олександром Андрійовичем Рядно [1].

Науковий шлях Олександра Олексійовича розпочався з чисельного розв'язання крайових задач теорії теплопровідності методом скінченних різниць [1]. Відверто кажучи, не найскладніші задачі та досить простий обчислювальний підхід, але Олександр Олексійович зумів досягти такої досконалості у програмній реалізації, що його програмний код тривалий час вважався майже еталонним. Наскільки відомо авторам даної роботи, у той період Олександр Олексійович запрограмував та випробував всі відомі різницеві схеми чисельного розв'язання рівнянь

теплопровідності, а також протестував низку наближених методів розв'язання задач теорії теплопровідності. Йому вдавалося цілком успішно розв'язувати одновимірні задачі теорії теплопровідності, двовимірні задачі він розраховував з деякими обмеженнями на геометрію областей розв'язання, а щодо просторових задач – то потужності обчислювального центру університету того часу не давали можливості такого розрахунку [3]. Саме на тому етапі Олександр Олексійович зіштовхнувся з основними недоліками методу скінченних різниць: чутливість до форми області – задача може бути успішно розв'язана цим методом, якщо вдається побудувати узгоджену ортогональну сітку, у протилежному випадку неузгоджена сітка генерує похибку поблизу межі області розв'язання, як у представленні геометрії області у апроксимованій формі, так й у дискретній різницевої реалізації крайових умов. В результаті утворився певний розрив у точності розрахунків методом скінченних різниць у канонічних та неканонічних областях. Навіть перехід від прямокутної до трикутної форми області породжував значні алгоритмічні та програмні труднощі. На сучасному рівні ця проблема вирішується за допомогою неструктурованих сіток, однак того часу поняття неструктурованої сітки ще не існувало, а якби воно й було б запропоновано, то мала потужність комп'ютерів не дозволила б його застосувати належним чином [1].

Треба пояснити, що ситуація того часу радикально відрізнялася від сучасного положення речей, а це вимагає додаткового аналізу, який було проведено у роботі [1], а нижче наводиться зі скороченнями. Більшість задач теплопровідності, які на той час вважалися актуальними, формулювалися в областях канонічної геометричної форми у лінійних постановках. Тобто їх чисельне розв'язання здійснювалося на грубих, регулярних ортогональних сітках та не викликало специфічних труднощів. Затрати часу на написання такої відносно простої програми були порівнянні з витратами часу на побудову аналітичного розв'язку. Але наступні параметричні дослідження, пов'язані зі зміною крайових чи початкових умов, для чисельного розв'язку проходили на декілька порядків швидше. Іншими суттєвими перевагами чисельного підходу були можливості (того часу ще в певній мірі потенційні) розв'язувати нелінійні задачі та задачі у областях складної геометричної форми, хоча повністю подолати зазначені труднощі не вдалося й досі. Застосування електронно-обчислювальної техніки у наукових дослідженнях в теорії теплопровідності, а потім і в теорії тепломасообміну дозволило значно прискорити виконання науково-дослідних робіт та отримати значну кількість оригінальних наукових результатів. Треба зазначити, що методологічно дослідження з чисельного моделювання процесів теплопровідності були побудовані таким же чином, як їх аналітичні аналоги: була створена бібліотека, яка включала програмні реалізації майже всіх відомих на той час скінченнорізницевих схем розв'язання крайових задач для рівняння теплопровідності. Більше того, певна кількість аналітичних, напіваналітичних та наближених методів також отримали свої програмні реалізації. На кафедрі прикладної газової динаміки та тепломасообміну майже всі ці роботи були проведені О. О. Кочубеєм.

При аналізі цього етапу історії наукової школи [1] виникає природне запитання: чи були виправдані настільки широкі фактично методологічні

дослідження? Можливо доцільно було б віддати перевагу вузькоспеціалізованим дослідженням у напрямках, що забезпечили б суттєву наукову новизну результатів? З точки зору сучасної науки, повністю орієнтованої на отримання пріоритетного результату з подальшим затвердженням цього пріоритету, такі дослідження не мали сенсу. Однак треба зазначити, по-перше, що суттєва частина цих досліджень проводилася в рамках навчального процесу, тобто їх проведення безумовно було доцільним; по-друге, метою цих робіт було не встановлення наукових пріоритетів, а наукове забезпечення проектно-конструкторської та науково-дослідної діяльності Конструкторського бюро «Південне», а з цієї точки зору, методологічні дослідження теж були цілком виправдані, оскільки забезпечили означене Конструкторське бюро відповідними бібліотеками програм; по-третє, проведені роботи заклали міцний фундамент подальших досліджень як в галузі теорії теплопровідності, так і в інших напрямках теплофізики та механіки суцільного середовища. Остання обставина, що доводить доцільність підходу, котрий мав місце на кафедрі прикладної газової динаміки та тепломасообміну у розглянутий час, має ненауковий характер: через надмірну таємність наукових розробок у Радянському Союзі передача наукових результатів, алгоритмів, програмних продуктів між різними організаціями була дуже ускладнена, через це науковці, що активно працювали над достатньо широкою проблематикою, прагнули мати власний максимально широкий та універсальний інструментарій наукового дослідження чи проектно-розробки, на відміну від Заходу, де цей процес розвивався у суто протилежному напрямку. Природним наслідком такої, далекої від справжньої науки, практики стало масове дублювання наукових робіт у Радянському Союзі, що призводило до марних витрат часу, ресурсів, грошових фондів. Зрозуміло, що роботи групи О. О. Кочубея багато у чому дублювали наукові дослідження, які проводилися в інших провідних наукових центрах Радянського Союзу, однак проведені ці дослідження були на такому високому рівні, що не поступалися кращім світовим аналогам [1].

Якщо пригадати роботи з розробки програмного забезпечення та дослідження у галузі математичного та чисельного моделювання, що відбувалися у 70-ті та 80-ті роки минулого сторіччя [3], то було б невірно не згадати обчислювальний центр Дніпропетровського університету, який входив до складу Міжвузівського центру наукових досліджень. Вже в багатьох спогадах відзначалася унікальна, незвичайно доброзичлива атмосфера цього обчислювального центру. У тих, хто того часу відвідував обчислювальні центри в інших організаціях, створювалося враження що вони відвідали чи храм, чи операційне відділення у лікарні: всі у білих халатах, всі розмовляють дуже тихо, всі кажуть якісь малозрозумілі речі. У Дніпропетровському університеті все було навпаки: натовп народу (переважно студентів), черги, постійно непрацюючі перфоратори, питання «де взяти перфокарти?», а головне – неповторна атмосфера, у який професор міг звернутися до студента, а студент до професора по допомогу, і незрозуміло хто з них кому допомагав. Гарні дівчата, яким кожен з більш досвідчених відвідувачів обчислювального центру просто вважав своїм обов'язком допомогти з програмою. Серед користувачів обчислювального центру була своя еліта – «ті, хто ходить на машину». Були й свої «комп'ютерні гуру». Олександр Олексійович Кочубей не

просто регулярно відвідував обчислювальний центр, він був однією з найбільш поважних фігур серед користувачів, на нього дивилися як на гуру програмування, йому вдавалося за декілька хвилин знаходити у програмах помилки, які не міг знайти ніхто інший. Він ніколи нікому не відмовляв у допомозі з програмами, хоча знаходилися люди, які цим явно зловживали. Можливо, феноменальний успіх того програмістського братства, про який уже сказано вище, багато у чому стався завдяки класному програмісту Олександру Олексійовичу Кочубею.

Наступним етапом наукових уподобань Олександра Олексійовича стали роботи по чисельному дослідженню теплообміну в трубах знову ж таки методом скінченних різниць. Математична модель у цьому випадку ґрунтується вже не тільки на рівняннях теплопровідності, а включає рівняння переносу з відповідними початковими та крайовими умовами. Однак, як і раніше, область розв'язання обмежена канонічною циліндричною формою (труба). Принципово новим моментом дослідження подібних процесів стало формулювання спряжених задач теплообміну: течія в трубі – стінка труби. Незважаючи на очевидне ускладнення задач на цьому етапі та їх успішне чисельне розв'язання, Олександру Олексійовичу не вдалося подолати означені вище геометричні обмеження. Щоб здолати ці труднощі, Олександр Олексійович звернувся до популярної того часу ідеї комбінації чисельних методів чи між собою, чи з аналітичними та наближеними аналітичними підходами. Чесно кажучи, ці спроби важко визнати повністю вдалим: внесення у комбінацію з чисельним алгоритмом аналітичного підходу, як правило, руйнує структуру алгоритму та вносить непередбачувані джерела похибки. Більш того, вже досить давно на ринку з'явилися так звані засоби аналітичного програмування (Maple, Mathematica, Mathcad, Matlab), які дозволяють описувати аналітичний алгоритм близько до його математичного опису. Фахівці очікували буму аналітичних підходів, але Ренесансу аналітики не трапилось, що дозволяє стверджувати про майже повну неефективність аналітичних підходів у розрахунковій практиці. Щодо комбінації з іншими чисельними підходами, то в деяких окремих випадках вдавалось отримати обнадійливі результати, але не здійснити якісний прорив. Прикладом таких обнадійливих результатів може служити робота [4], де Олександр Олексійович разом з методом скінченних різниць використав метод характеристик. Однак такий підхід був ефективним лише для течії в трубі та теплообміну в ній, де течія має чітко визначений переважний напрямок швидкості. Тим не менш, отримані результати мали певне методологічне значення та за деякими показниками перевершували традиційну скінченнорізницеву схему «проти потоку».

Розробка алгоритмів методу скінченних елементів зі спеціальними апроксимаціями та їх застосування у обчислювальному тепломасообміні. З часом університет придбав дві нові, більш потужні електронно-обчислювальні машини єдиної серії, яка вироблялася тоді у Радянському Союзі (аналог комп'ютерів серії IBM 360) [3]. Природно, перед всіма основними групами розробників програмного забезпечення стало питання про вдосконалення та подальший розвиток авторських комплексів програм. Введення в експлуатацію нової обчислювальної техніки того часу означало обов'язкове оновлення комплексів програм, часто досить радикальне. З початку 70-тих років минулого

сторіччя у Сполучених Штатах почалася активна публікація статей і монографій, присвячених методу скінченних елементів.

Однак у середині 60-х років проблема областей складної форми стояла дуже гостро [3, 4], а всі спроби подолати цю проблему засобами методу скінченних різниць не приносили належних результатів. Особливо важкою ситуація була для крайових задач еліптичного типу, що поширені у механіці деформівного твердого тіла, оскільки для них має місце принцип максимуму, внаслідок якого не тільки розв'язок, а й похибка розрахунку сягає максимуму на межі області, яку метод скінченних різниць вимагає апроксимувати достатньо грубо. Метод скінченних елементів був заснований на ідеї апроксимації області розв'язку значним числом дрібних підобластей, що отримали назву скінченні елементи. Не зупиняючись на необхідних апроксимаціях розв'язків в межах кожного скінченного елемента, побудові матриць систем лінійних алгебраїчних рівнянь та інших особливостях алгоритмів методу скінченних елементів, зазначимо лише, що можливості апроксимації складної межі області розв'язку за допомогою набору скінченних елементів були набагато кращі, ніж можливості тієї ж апроксимації за допомогою структурованої скінченнорізницевої сітки [5, 6]. Але алгоритми скінченних елементів у порівнянні з алгоритмами скінченних різниць мали дуже суттєвий недолік – замість діагональної матриці системи лінійних алгебраїчних рівнянь для більшості неявних схем (справедливості заради треба зазначити, що зараз у алгоритмах скінченних різниць панує тенденція відмови від таких матриць на користь матриць загального вигляду) чи взагалі відсутності системи лінійних алгебраїчних рівнянь як необхідної складової алгоритму для явних схем, метод скінченних елементів передбачав отримання систем лінійних алгебраїчних рівнянь з матрицями набагато більш складного вигляду, які згодом отримали назву розріджених матриць. Окрім того, що розріджені матриці потребували спеціальних алгоритмів для розв'язання отриманих систем лінійних алгебраїчних рівнянь, вони вимагали ще й набагато більшої пам'яті комп'ютера, ніж при реалізації алгоритмів методу скінченних різниць. Як результат, метод скінченних елементів вимагав набагато більших ресурсів обчислювальної техніки (у Сполучених Штатах з комп'ютерами тоді було набагато краще, ніж у Радянському Союзі), ніж метод скінченних різниць. Однак основною перевагою методу скінченних елементів була його гнучкість щодо форми області – зміна форми області з канонічної на неканонічну для методу скінченних елементів не призводила до будь-якого суттєвого погіршення точності розв'язку та не вимагала радикального збільшення часу розрахунків і комп'ютерної пам'яті [2, 3]. Метод скінченних елементів було позиційовано, у першу чергу, як засіб чисельного розв'язання крайових задач еліптичного типу у областях складної геометричної форми, тобто задач механіки деформівного твердого тіла. Кількість параболічних та гіперболічних задач, що розв'язувалися методом скінченних елементів, була відносно невеликою.

З появою нової обчислювальної техніки Олександр Олексійович Кочубей звернув увагу на метод скінченних елементів [2]. Його намагання розробити новий комплекс програм на основі методу скінченних елементів не знайшли розуміння серед колег. Дійсно, в наявності є добротний зроблений, відпрацьований та відтестований комплекс програм, на основі якого з урахуванням можливостей нової

техніки можна розв'язувати просторові задачі теплопровідності, плоску задачу Стефана та інші складні нелінійні задачі. Такий доробок спроможний на тривалий час забезпечити госпдогвірну тематику та значні результати наукових досліджень. Перспективи ж методу скінченних елементів, навіть при можливостях нової техніки, були сумнівними. Потрібна була ідея – нова, свіжа, неординарна ідея. І таку ідею Олександр Олексійович почерпнув у роботах відомого зарубіжного науковця, фахівця у галузі методу скінченних елементів С. Патанкара [5, 6].

Необхідно пояснити принципову різницю між практикою математичного і чисельного моделювання у Радянському Союзі та на Заході того часу [3]. На Заході один фахівець займався розробкою теорії чисельних методів, висував ідеї, проводив оцінки, доводив теореми та отримував за все це гроші, вчені ступені, якщо він був з академічного чи наукового середовища, та визнання колег. Інший фахівець брав ідею чисельного методу, якщо вона йому сподобалась, забезпечував алгоритмічне наповнення методу, розробляв програмний код, проводив його тестування, виявляв сильні та слабкі сторони, на основі чого робив оцінки якості алгоритму. Він теж отримував за все це гроші, вчені ступені, якщо він був з академічного чи наукового середовища, та визнання колег. Третій фахівець брав відомий, протестований алгоритм, забезпечував його алгоритмічне супроводження, розробляв програмний інтерфейс, тобто створював прикладне програмне забезпечення. Як це не дивно, але ця людина теж отримувала за все це гроші, вчені ступені, якщо вона була з академічного чи наукового середовища, та визнання колег. І, в решті решт, тільки четвертий фахівець за допомогою розробленого програмного забезпечення проводив розрахунки в інтересах замовника чи у власних інтересах, також отримуючи за все це гроші, вчені ступені, якщо він був з академічного чи наукового середовища, та визнання колег. При цьому лише останні фахівці з четвертої групи мали справу з інженерами, тобто формулювали та уточнювали фізичну модель процесу, потім формулювали, вдосконалювали та уточнювали математичну модель процесу і лише після цього формулювали математичну задачу, яку слід було розв'язати чисельно. Зрозуміло, що всі ці фахівці на Заході – це різні люди, часто різні навіть за фахом. А у Радянському Союзі, хоча всі перелічені вище етапи дослідження мали місце, в усіх перелічених ролях виступав один науковець, а гроші платили та присуджували наукові ступені виключно за аналіз отриманих розв'язків прикладних задач, а нерідко взагалі не платили. Це ще одна сторона унікальності групи фахівців з математичного та чисельного моделювання, що сформувалася на кафедрі прикладної газової динаміки і тепломасообміну Дніпропетровського університету, та подібних до неї груп: до них приходили інженери з інженерно-технічними проблемами, університетські фахівці формулювали фізичну модель процесу, на її основі – математичну модель того ж процесу, розробляли алгоритм чисельного розрахунку, розробляли програмний код, проводили розрахунки, аналізували їх результати та пропонували інженеру нове технічне рішення або давали рекомендації щодо такого рішення. Той, хто пройшов шлях від студента до доктора наук з відповідної спеціальності, гарантовано мав обсяг знань та навичок, недоступних для звичайної людини навіть з фаховою освітою. Ось чому сьогодні ми кажемо про унікальність цих фахівців, у тому числі й про унікальність професора Олександра Олексійовича

Кочубея як фахівця в цій галузі. Різниця у підходах між Радянським Союзом та Заходом означала, що Олександр Олексійович міг без яких-небудь перешкод користуватися ідеями С. Патанкара, тим більше, що на Заході вони особливої популярності не отримали [5, 6].

Ідея, яку Олександр Олексійович почерпнув у С. Патанкара, – це застосування у методі скінченних елементів так званих спеціальних апроксимацій [5, 6]. Згідно до загальної методики скінченних елементів, область розв'язку задачі розбивається на досить малі геометричні підобласті, що називаються скінченними елементами та повністю покривають область розв'язку, не маючи при цьому спільних внутрішніх точок. Бажаний розв'язок на кожному зі скінченних елементів відшукується у вигляді заздалегідь заданої функції, яка називається пробною функцією та включає в себе довільності, що підлягають визначенню. На початкових етапах розвитку методу скінченних елементів було випробувано безліч різних апроксимуючих функцій, але, в решті решт, зупинилися на поліноміальних апроксимаціях, чого і варто було очікувати. Однак при очевидних перевагах, серед яких простота програмування, легка ортогоналізація і таке інше, поліноміальні апроксимації мають певні суттєві недоліки. Якщо підвищувати порядок апроксимуючого поліному з метою підвищення порядку та покращення точності розрахункової схеми, на скінченних елементах виникають нефізичні екстремуми розв'язку, тобто розрахункова схема втрачає властивість монотонності. Ця обставина змушує для підвищення точності не підвищувати порядок апроксимації, а дробити скінченноелементну сітку, що різко збільшує вимоги до ресурсів комп'ютера. Спеціальні апроксимації, тобто апроксимації у просторі аналітичних розв'язків спрощених крайових задач, у певному сенсі близьких до актуальної задачі, що розглядається, не мають переваг поліноміальної апроксимації, часто вони навіть не забезпечують повноти системи функції, що ставить під сумнів можливість їх застосування з теоретичної точки зору. Але спеціальні апроксимації, обрані таким чином, зберігають певні властивості розв'язку актуальної задачі, внаслідок чого вони не вимагають надлишкового подрібнення сітки. Знаходячись на межі математичної коректності алгоритму, Олександр Олексійович отримав можливість різко скоротити обсяги необхідної машинної пам'яті та час розрахунку. Слід визнати, що С. Патанкар так далеко у реалізації цієї ідеї не пішов з невідомих зараз причин. Мистецтво дослідника саме і полягає в тому, щоб із множини доступних варіантів обрати найкращі, коли їх якості взагалі невідомі. Розробка даного напрямку зайняла у Олександра Олексійовича середину та другу половину 80-тих років. В результаті, було розроблено комплекс прикладних програм для розрахунку течій в'язкої рідини та процесів тепломасообміну в областях складної геометричної форми в складних полях масових сил, у тому числі й в просторовому випадку. З технічної точки зору, це вельми актуальні у сучасній техніці та технологіях задачі про течії в системах охолодження лопаток турбомашин, задачі про пористі системи охолодження, задачі магнітної гідродинаміки у розплавах металів та багато інших задач, важливих для сучасної промисловості та ракетно-космічної техніки. Спеціальні дослідження цього питання не проводилися зі зрозумілих причин, але якісні оцінки однозначно свідчать, що в кінці 80-х та у першій половині 90-х років минулого сторіччя комплекс програм, про який йдеться мова, був одним з самих

ефективних у світі, але значно поступався закордонним аналогам по охопту функціональності та якості інтерфейсу. П'ятнадцять років життя професор О. О. Кочубей витратив на подолання труднощів, пов'язаних з чисельним розв'язанням задач гідромеханіки та тепломасообміну у областях складної геометричної форми [4–6], – проблеми, з якою він зіштовхнувся у юності. Експлуатація розробленого комплексу дозволила в короткі строки підготувати та захистити кандидатські дисертації двом учням професора О. О. Кочубея – С. Є. Мельнику та Є. М. Ракиті – а самому Олександрові Олексійовичу – підготувати та захистити докторську дисертацію. На жаль, з середини 90-х внаслідок загальновідомих негараздів у країні розробку комплексу довелося зупинити [3].

Подальша доля комплексу програм, розробленого Олександром Олексійовичем Кочубеєм, досить сумна [2, 3]. При переході з електронно-обчислювальних машин єдиної серії на персональні комп'ютери частина комплексу була не відтворена з різних причин і виявилася втраченою. Сам Олександр Олексійович ніколи не намагався провести комерціалізацію комплексу. Однак у першій половині 90-х років за прийнятим тоді порядком у рамках підготовки до захисту дисертацій в якості впровадження результатів досліджень різним організаціям передавалося програмне забезпечення та тексти програм. Таким чином, сьогодні ми не можемо гарантувати, що у комерційних пакетах прикладних програм з закритим кодом не використовуються модулі із комплексу програм професора О. О. Кочубея [2, 3].

Сучасні тенденції розвитку наукової школи професора О. О. Кочубея. Останні роки, коли Олександр Олексійович вже працював першим проректором, в своїй науковій діяльності він віддавав перевагу методичним питанням математичного моделювання [7], наприклад, його цікавило питання про накопичення обчислювальної похибки у складних розрахункових процесах. Занепокоєння Олександра Олексійовича викликало зникнення груп розробників прикладного програмного забезпечення, які не могли конкурувати з комерційними пакетами прикладних програм, що вийшли на наш ринок. В результаті в Україні склалася суперечлива ситуація: обчислювальної техніки, на якій комерційний пакет для інженерно-технічних розрахунків зміг би повноцінно функціонувати, в країні майже немає, а груп розробників, котрі могли би забезпечити розрахунок на наявній техніці, теж не залишилося, оскільки вони не можуть конкурувати з піратськими, безкоштовними та демонстраційними версіями пакетів. Не обійшов він своєю увагою й метод граничних елементів, що швидко розвивається останнім часом [8].

Завершуючи опис наукового шляху професора О. О. Кочубея, хотілося б поставити питання: яким має бути шлях подальшого розвитку методів математичного моделювання в Україні? Чи він має бути подібним до американського підходу, коли великі колективи протягом тривалого часу розробляють, тестують та впроваджують величезні комплекси програм, а останні потім працюють багато років? Чи він має спиратися на блискучих особистостей, таких як професор О. О. Кочубей, котрим вдалося успішно розв'язати принципові задачі, але не вдалося створити комерційний програмний продукт?

Олександр Олексійович був тісно пов'язаний з відповідним Вісником Дніпровського університету, Механіка; з моменту заснування Віснику до самої смерті він входив до редакційної колегії та багато років її очолював.

Висновки. Олександр Олексійович був дуже багатогранною людиною, викладацьку та наукову діяльність, притаманну будь-якому викладачу університету, він поєднував з напруженою адміністративною та організаційною роботою першого проректора. У Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара важко знайти викладача чи співробітника, який ніколи би не звертався до першого проректора професора О. О. Кочубея. Багато хто пригадує цю вельми розумну та доброзичливу людину, завжди готову допомогти порадою та справою. Автори цих строк хотіли б засвідчити, що він був професіоналом найвищого ґатунку – не тільки у ролі керівника та організатора, а й блискучим викладачем та не менш видатним науковцем. Механіко-математичний факультет Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара завжди був багатим на блискучих викладачів, які володіють фірмовим мехматовським почуттям гумору, спроможних зацікавити студента, дати студенту відповідь на найскладніші питання. Але навіть серед цієї блискучої плеяди науково-педагогічних працівників професор Олександр Олексійович Кочубей відрізнявся неймовірно високим науковим рівнем викладання, але в той же час його лекції були зрозумілі майже кожному студенту. Автори цих спогадів теж мають певний досвід викладання математичних та механічних дисциплін, але високе мистецтво цієї справи, яким володів Олександр Олексійович, залишається недосяжним. Професор О. О. Кочубей завжди намагався викладати дисципліни, близькі для нього в професійному та науковому плані, – чисельні методи гідродинаміки та тепломасообміну, саме в цих курсах він досяг такої високої досконалості.

Практично все наукове та викладацьке життя Олександра Олексійовича, за винятком декілька років у середині 90-тих, було пов'язане з кафедрою прикладної газової динаміки і тепломасообміну, де він сформувався як науковець, де він створив наукову школу, кафедру, яку від любив, хоча вона не завжди відповідала йому взаємністю. Він завідував цією кафедрою з 2005 по 2014 рік (з 2010 року об'єднаною кафедрою аерогідромеханіки та енергомасопереносу), незважаючи на страшенну зайнятість у ректораті, знаходив час, щоб вирішувати кафедральні проблеми, він особисто керував науковими дослідженнями на кафедрі, до останніх днів керував науковою роботою аспірантів.

Останні більш двадцяти років життя Олександр Олексійович Кочубей присвятив переважно організаційній та адміністративній діяльності на різних посадах. Найбільш відома, звичайно, його діяльність на посаді першого проректора Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, де він досяг не менших успіхів, ніж у науковій діяльності. Ця сторона життя та роботи Олександра Олексійовича заслуговує окремого аналізу. Тут хотілося б тільки відмітити, що з ім'ям професора О. О. Кочубея за весь час його роботи не було пов'язано жодної інтриги чи скандалу. Ще одна риса характеру Олександра Олексійовича, про яку згадують буквально всі, це уважне та доброзичливе ставлення до людей, намагання допомогти всім, хто до нього звертався.

Запропоновані тут спогади про видатну людину – Олександра Олексійовича

Кочубей – стосуються, у першу чергу, його особистості та особистого наукового шляху; мабуть, тут не місто аналізувати історію розвитку наукових шкіл та порівнювати їх з аналогічними історіями розвитку науки в інших близьких за напрямком установах. Але автори впевнені, що немає кращого шляху забезпечити подальший прогрес науки, ніж аналізувати історію успіху та продовжувати традиції наукових досягнень.

Бібліографічні посилання

1. **Кочубей О. О.** Методологічний аналіз та тенденції розвитку теплофізики у Дніпровському університеті / О. О. Кочубей, Л. І. Книш, Д. В. Євдокимов // «Актуальні проблеми механіки». Монографія серії: Підсумки науки до 100-річчя заснування Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. – Дніпро: Ліра. 2018. – С. 75–89.
2. **Хамініч О. В.** Професор О. О. Кочубей та альтернативні підходи до обчислювальних гідромеханіки та теорії тепломасообміну / О. В. Хамініч, М. В. Поляков, Д. В. Євдокимов // Науково-практична конференція «Сучасні розрахунково-експериментальні методи визначення характеристик ракетно-космічної техніки», 10–12 грудня 2019 р., м. Дніпро. – С. 34–35.
3. **Поляков М. В.** Професор О. О. Кочубей та Дніпровська наукова школа обчислювальної гідромеханіки та обчислювального тепломасообміну / М. В. Поляков, О. В. Хамініч, Д. В. Євдокимов // Тези доповідей Другої міжнародної науково-технічної конференції пам'яті академіка В. І. Моссаковського. Дніпро. 10–12 жовтня 2019. – С. 268–271.
4. **Беляев Н. М.** Нестационарный теплообмен в трубах / Н. М. Беляев, А. А. Кочубей, А. А. Рядно, В. Ф. Фалий. Под общ. ред. Н. М. Беляева. – Киев–Донецк: Вища школа, 1980. – 160 с.
5. **Кочубей А. А.** Численное моделирование процессов конвективного переноса на основе метода конечных элементов / А. А. Кочубей, А. А. Рядно. – Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1991. – 223 с.
6. **Кочубей О.О.** Метод скінченних елементів у задачах теплообміну і динаміки рідини / О. О. Кочубей, О. А. Рядно. – Дніпропетровськ: ДДУ, 1995. – 188 с.
7. **Євдокимов Д.В.** Анализ тенденций развития современного математического и численного моделирования / Д. В. Евдокимов, А. А. Кочубей, Н. В. Поляков // Вісник Дніпропетровського університету, № 8, серія «Моделювання», Випуск 1, 2009. – С. 5 – 17.
8. **Бразалук Ю.В.** Метод граничних елементів в задачах гідродинаміки та теплопровідності / Ю. В. Бразалук, О. Г. Гоман, Д. В. Євдокимов, О. О. Кочубей, М. В. Поляков // Дніпро: Ліра, 2019. – 228 с.

Надійшла до редколегії 15.10.2020