



ТИМОХА
Олександр Миколайович —
академік НАН України,
директор Інституту математики
НАН України

ДОСЯГНЕННЯ, АКТУАЛЬНІ ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ МАТЕМАТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В УСТАНОВАХ ВІДДІЛЕННЯ МАТЕМАТИКИ НАН УКРАЇНИ

Шановний Анатолію Глібовичу! Шановні колеги!
Насамперед хотів би зазначити, що вчора на сесії загальних зборів Відділення математики НАН України її учасники обговорили проект постанови Загальних зборів НАН України і одногосно підтримали його.

Борис Євгенович Патон шанував і ретельно оберігав математиків. Він часто повторював вислів «короля математики» Йоганна Карла Фрідріха Гаусса: «Математика — королева наук, а теорія чисел — королева математики». Вислів, який відображає невідворотний історичний процес математизації всіх наук, а також провідну роль «чистої» математики (за часів Йоганна Гаусса це передусім була теорія чисел).

Вчені-математики відіграють ключову роль у математизації всіх галузей знань. До середини ХХ ст. було математизовано фізику й теоретичну інженерію (механіку). Створення математиками інформатики та кібернетики (як тут не пригадати Алана Тюрінга та «Енігму») привело у 70-х роках минулого століття до ситуації, коли майбутнє математичної науки асоціювалося вже не з фізикою і механікою, а з інформатикою. Як результат — заснування факультетів математики та інформатики замість фізико- та механіко-математичних факультетів, які домінували за часів активної математизації фізики і механіки (теоретичної інженерії), особливо після Другої світової війни. А наприкінці ХХ ст. математичною мовою заговорила економіка. Як наслідок, уже є перші ластівки — факультети математики та економічних наук, наприклад в Університеті Ульма. Фізика, механіка та економіка не стали математикою в сенсі другої частини вислову Гаусса, але тепер і в подальшому вони перебуватимуть під її впливом та «батьківським» теоретичним доглядом. На черзі — науки про життя.

В контексті того, що я сказав вище, зрозуміло, чому історично дві установи Відділення математики НАН України містять у назві слово «механіка» (Інститут прикладної математики і механіки та Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача). Напрямок математичних проблем механіки, заснований, до речі, «чистим» математиком, учнем М.М. Лузіна, академіком Михайлом Олексійовичем Лаврентьєвим, був і залишається важливою складовою тематичних планів досліджень наших установ. Ми маємо кілька тематик досліджень з математичних проблем механіки, фундаторами яких були видатні вчені свого часу. Це математичні проблеми побудови гідроспоруд, до розв'язання яких доклався Стефан Банах, динамічна міцність та стійкість конструкцій, над якими працювали Ілля Штаерман та Володимир Челомей, рух снарядів з рідинним наповненням, теорію якого заклав, зокрема, Селім Крейн. Не так часто згадують той факт, що відомий конструктор ракетно-космічної техніки Володимир Челомей у 1939 р. захистив кандидатську дисертацію саме в Інституті математики АН УРСР. Він — математик. Так само, як і головний науковий консультант Сергія Корольова професор Ілля Рапопорт, який заснував в Інституті математики наукову школу динаміки рідини в баках ракет-носіїв. Прикладів дуже багато.

Дослідження з математичних проблем механіки і сьогодні є актуальними, особливо зважаючи на їх традиційні військові застосування. Є достойні уваги результати вчених Відділення, отримані у 2022 р.

В Інституті прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача розроблено методологію дослідження процесів деформування конструкцій складної форми і структури за інтенсивного силового навантаження, яка дає можливість засобами математичного та комп'ютерного моделювання отримати експертну оцінку міцності конструкції, визначити руйнівне навантаження для неї та місце, з якого почнеться таке руйнування, і водночас оптимізувати таку конструкцію шляхом вибору її геометричних параметрів та відповідних

матеріалів. Методологія дає можливість суттєво скоротити вартість натурних експериментів або й узагалі відмовитися від них. Порівняльний аналіз результатів натурних випробувань, проведених у КБ «Південне», та обчислювальних експериментів вчених львівського інституту засвідчив їх добре узгодження як за місцем руйнування, так і за величиною (д.ф.-м.н. Б.Д. Дробенко і М.В. Марчук).

В Інституті математики та Інституті прикладної математики і механіки розвивалася тематика з дослідження динаміки рідини в баках. Отримані результати можна застосовувати для розроблення баків інженерних конструкцій, зокрема ракет-носіїв, при створенні сучасних фармацевтичних і хімічних технологій, а також для вирощування риби у садках. Побудовано наближені нелінійні математичні моделі просторових рухів рідини та отримано розв'язки задач керування об'єктами, що містять баки з рідиною. Проведено аналітичну класифікацію резонансних хвиль, у тому числі й хаотичних, аналіз їх впливу на резервуар.

На сьогодні споживачами цієї прикладної наукової математичної продукції поки що є лише закордонні фірми, зокрема норвезькі. Українські компанії також виявляють інтерес до неї, але зараз вони не мають грошей.

Дослідження за «механічними» напрямками (з акцентом на військових застосуваннях) продовжуватимуться й у 2023—2024 рр. у рамках міждисциплінарних проєктів за бюджетною програмою підтримки пріоритетних для держави наукових досліджень і розробок (КПКВК 6541230): «Моделювання та розвиток методів розрахунку раціонального функціонування конструкційних елементів і систем різного цільового призначення за комплексних навантажень» та «Математичне моделювання складних динамічних систем та процесів, актуальних для безпеки держави».

Як видно з наведених назв, другий проєкт ґрунтується на здобутках української школи з теорії динамічних систем. На жаль, наприкінці минулого року пішов з життя один із найвидатніших засновників теорії динамічних систем у світі академік НАН України Олександр Мико-

лайович Шарковський. Але є послідовники — вчені Інституту математики НАН України. Разом з іншими співробітниками інституту, які займаються методами машинного навчання, започатковано два нові міждисциплінарні (математика + інформатика) прикладні напрями, щодо актуальності яких досягнуто порозуміння з Воєнно-науковим управлінням Генерального штабу ЗСУ. Це — розвиток математичного моделювання бойових дій з використанням машинного навчання відповідних моделей, а також розроблення та обґрунтування алгоритмів машинного навчання для поліпшення ситуативної обізнаності на полі бою. Крім того, до другого проєкту включено міждисциплінарні (математика + економіка і фінанси) дослідження динамічних систем фінансового ринку з перемиканнями, пов'язаними з різкими змінами поведінки агентів.

Цікаво, що поштовхом для другого міждисциплінарного напрямку стосовно ситуативної обізнаності на полі бою стало оприлюднення відомим військовим експертом Томом Купером аналізу Харківської військової операції, в якому він фактично використовував алгоритми, розроблені вченими Інституту математики НАН України. Отже, в Інституті математики розроблено методи та алгоритми для задачі класифікації даних з частковим навчанням (д.ф.-м.н. С.Г. Солодкий та к.ф.-м.н. Є.В. Семенова), які пропонується застосовувати для поліпшення ситуативної обізнаності під час ведення бойових дій, тобто підвищення рівня знань про позиції як власних сил, так і сил супротивника. Зазвичай військові знають, де знаходяться передові позиції супротивника, але не мають цілісного уявлення про розміщення всіх найближчих ворожих сил. Більше того, під час ведення активних бойових дій не завжди є повна інформація і про розташування власних позицій. Застаріле бачення театру воєнних дій як лінійної взаємодії двох сторін не дає достатньої картини для аналізу та планування операцій. Сучасне бачення розміщення військових на полі бою потребує нових методів оцінки ситуації. І в цьому може допомогти розроблений вченими інституту алгоритм

машинного навчання, який дозволяє з високою точністю розкласти велику множину, що складається з кількох десятків точок, на дві різні підмножини, маючи при цьому повну інформацію лише про невелику кількість точок з кожної підмножини.

Як уже було сказано, у фокусі уваги вчених Інституту математики НАН України (к.ф.-м.н. І.М. Сушко) перебувають динамічні моделі фінансового ринку з перемиканнями, пов'язаними з різкими змінами поведінки агентів. У рамках спільних з економістами Італії та Німеччини міждисциплінарних досліджень вивчено математичну модель динаміки фінансових ринків за наявності гетерогенних агентів, що дало можливість пояснити механізм поведінки типу «бум-спад», у тому числі за кризових (зокрема, воєнних) станів.

А міждисциплінарні дослідження з медіками на тему «Розробка оптимальної математичної моделі розпізнавання маркерів у сечі» (керівник чл.-кор. НАН України А.А. Дороговцев) проводилися вченими-математиками інституту, фахівцями з теорії випадкових процесів.

Слід наголосити на дуже високому рівні української наукової школи з теорії випадкових процесів. Його підтверджено дуже престижною міжнародною науковою премією Іто, лауреатом якої у 2022 р. став співробітник Інституту математики Андрій Пилипенко (разом зі співробітником факультету кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка Олександром Іксановим).

І тут виникає дуже серйозна проблема. Вручатимуть цю наукову нагороду на Конференції зі стохастичних процесів та застосувань SPA 2023, яка відбудеться у Лісабоні 24–28 липня 2023 р. При цьому лауреати зобов'язані виступити з пленарною лекцією. Питання: от як професору Пилипенку отримати дозвіл на виїзд за кордон?! Може, назватися співаком чи журналістом? Якось ганьба. Репутаційні втрати України від неможливості отримати такий дозвіл колосальні.

Далі я назву лише чотири результати, отримані нашими вченими у 2022 р., які без пере-

більшення є видатними. Якби від мене не вимагали акцентувати на «застосуваннях», я б тільки про ці чотири й розповідав. Бо це і є **математика**, з якої виростають інші науки. Розвиток таких фундаментальних математичних досліджень повинен бути в пріоритеті. Це як діаграми Георгія Вороного (астрофізика, аналіз мереж, комп'ютерна графіка, робототехніка), введені у 1908 р., чи поліноми Сергія Бернштейна (комп'ютерне зображення геометричних образів), запропоновані у 1912 р. Розвиток саме такої «чистої» математики є питанням національної безпеки, оскільки без неї та людей, які отримують відповідні результати, не буде математики, а з нею зникнуть і «застосування».

Отже, в Інституті математики встановлено критерій еквівалентності категорій когерентних пучків над некомутованими нетеровими схемами. Результат є принциповим для некомутованої алгебраїчної геометрії. Виведено явний критерій Моріта-еквівалентності некомутованих алгебраїчних кривих, що пов'язується з теорією рівнянь Янга—Бакстера (чл.-кор. Ю.А. Дрозд).

В Інституті прикладної математики і механіки побудовано асимптотику розв'язків для еліптичних та параболічних рівнянь з нестандартними умовами росту при нелогарифмічному зростанні коефіцієнтів, які є корисними для опису стаціонарних станів ньютонівських рідин (чл.-кор. І.І. Скрипнік, М.В. Войтович).

В Інституті прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача в галузі лінійної алгебри введено нові узагальнені обернені матриці над тілом кватерніонів, які є комбінаціями псевдооберненої Мура—Пенроуза та серцевинної оберненої; одержано їх характеристичні властивості та представлення. Результати застосовано в дослідженнях розв'язності деяких кватерніонових матричних рівнянь типу Сильвестра (І.І. Кирчей).

У Математичному відділенні Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна введено та вивчено клас несингулярних групових дій на ймовірнісному

просторі, які мають структуру нескінченного прямого добутку дій типу Крігера II. Завдяки їх застосуванню вдалося вирішити для всіх м'яко змішувальних гаусівських автоморфізмів сформульовану у 2001 р. проблему Леманчика—Лесіня—Скрентого щодо ергодичності дійснозначних коциклів, побудувати ергодичні несингулярні пуассонівські системи всіх можливих типів Крігера, а також навести нові спрощені приклади несингулярних бернуллівських систем усіх можливих типів Крігера (О.І. Даниленко).

Війна. Загиблі. Втрати. Інститут прикладної математики і механіки вже вдруге, починаючи з 2014 р., змушений був евакуюватися. Згідно з розпорядженням Президії НАН України від 12.09.2022 № 427 він переїхав у м. Черкаси і розмістився на площах Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Завдяки своєчасній підтримці з боку Президії НАН України вдалося зберегти науковий потенціал, основну документацію та обладнання установи. У 2022 р. Інститут у повному обсязі виконав тематичний план (54 % статей співробітників опубліковано у виданнях, які входять до баз Scopus та WoS), акредитовано (умовно) освітньо-наукові програми і набрано аспірантів.

Відділення вважає, що ця та аналогічні їй установи потребують спеціальної підтримки. На нашу думку, слід створити спеціальний фонд для надання додаткової фінансової допомоги зруйнованим установам та співробітникам, які стали безхатченками.

Щодо кадрових втрат та «еміграції». Перша хвиля виїзду за кордон розпочалася в лютому 2022 р. На сьогодні в рамках академічної мобільності за кордоном працює 45 наших науковців, що становить 15 % загальної чисельності Відділення (в тому числі 33 науковці з Інституту математики, або 22 % наукового складу установи). Зараз формується друга хвиля. Якби не було обмеження на виїзд для чоловіків призовного віку, з Інституту математики, за моєю оцінкою, виїхали б до 50 % науковців. Така ситуація має бути предметом обговорення на найвищому державному рів-

ні, зокрема в РНБО України, оскільки втрата такої кількості наукових кадрів — це без перебільшення питання національної безпеки.

Наукова молодь. До війни частка молодих вчених в Інституті математики завжди перебувала на рівні 25 %, в Інституті прикладної математики та механіки — майже 50 %. Після війни виїде майже вся молодь. Розумієте, колеги, «дрібні» гранти Академії для молодих вчених не допоможуть. Останнім часом доводиться буквально вмовляти молодих вчених подавати документи на ці гранти, адже їм значно легше знайти підробіток в ІТ-секторі чи приватних школах або просто відразу їхати за кордон. От не треба вважати математиків «дурними». Вони дивляться на старших колег і розуміють, що тут для них «безнадьога». Невдовзі будемо лише в пресі читати про нагородження престижними преміями наших колишніх співробітників, так само, як ми раділи за Марину Вязовську, яка виїхала за кордон одразу після захисту. А наші молоді дивляться на неї, як на дороговказ, — «треба їхати, поки молодий».

Скажу більше. Вчора мої колеги на загальних зборах Відділення звернули увагу, що зараз у системі Єдиної державної електронної бази з питань освіти (ЄДЕБО) зареєстровано 1411 захищених дисертацій докторів філософії. Як ви гадаєте, скільки з них дисертацій з математики (чистої, спеціальність 111)? Всього 4! Не дивуймося, чому в університетах уже спостерігається проблема з викладачами — часто математику в них викладають зовсім не математики. Логічний ланцюжок можна не продовжувати. Всім зрозуміло. І на цьому фоні майже в усіх країнах світу ми бачимо дефіцит хороших математиків. Ринок потребує їх багато, оскільки, як я сказав на початку, саме ці люди визначають розвиток усіх математизованих наук. Талановитих математиків пестують, переманюють, купляють. А ми просто віддаємо свої кадри і дивуємося потім, чому ж у нас немає інноваційного розвитку. Звідки ж йому взятися? Це як вимагати від яблуні без коріння давати високі врожаї.

Дефіцит фінансування досліджень. Монетизація знань. Монетизація знань для мате-

матиків — це насамперед участь в освітньому процесі та участь у міжнародних наукових програмах. І тут є проблеми, які потребують уваги МОН України та депутатів Верховної Ради України.

По-перше, академічні математичні установи — це місце стажування найкращих викладачів університетів та найкращих студентів. Статистично для установ Відділення йдеться про сотні осіб щороку. Ми працюємо з ними як волонтери, оскільки в університетах грошей також немає. Отже, в нинішніх умовах про монетизацію годі й думати. Аналогічна ситуація і з курсами підвищення кваліфікації для вчителів під час війни. Навряд чи вчителі самі платитимуть за них зі своїх мізерних зарплат. *Може, уряд чи МОН України могли б закласти в бюджет гроші на навчання та стажування у провідних математичних установах Академії хоча б найкращих з них?*

По-друге, університети страждають від недостатньої кількості докторів наук допенсійного віку і всіляко залучають сумісників. В Академії такі доктори наук *поки* є, навіть віком до 40 років. Але виявляється, що молодого доктора наук, навіть з кількарічним досвідом викладання аспірантських курсів, неможливо взяти на посаду професора. Це парадокс чинного Закону про вищу освіту. У ньому науково-педагогічний працівник визначається як такий, що працює саме в закладі вищої освіти і виконує наукову-педагогічну роботу. Педагогічна робота науковців в установах НАН України з підготовки докторів філософії, наукове керівництво аспірантами, викладання нормативних курсів аспірантських освітніх програм до стажу не зараховується. Хто з депутатів ініціює зміни до цього закону?

По-третє, заборона на виїзд науковців-чоловіків у наукові відрядження, про яку я вже згадував, поглиблюється неможливістю їх участі в європейських наукових програмах. Навіть у тих, внесок до яких Україна вже сплатила. Не кажучи вже про репутаційні втрати як наслідок заборони наукових відряджень, виникає запитання: чому в умовах гострої нестачі коштів на фінансування бюджетних програм

держава не вважає за потрібне повертати власні гроші? Чому просто віддає їх іншим країнам через заборону наукових відряджень для українських вчених?

Післявоєнні перспективи. Так склалося, що мені довелося брати участь у створенні двох центрів досконалості (centers of excellence) в Норвегії. Тоді я був здивований, як за кілька місяців бюджет центру-переможця (а початкові гроші давала держава) подвоювався завдяки внескам недержавних фондів та приватного сектору. Чому так? Чому інвестиції просто в науку від цих організацій були, але менші, ніж у центри досконалості? Тому що приватні інвестиції в науку хочуть іти до найкращих. Обраних провідними міжнародними експертами у жорсткій конкуренції. Нас очікує щось подібне у процесі розбудови післявоєнної науки в Україні. В розмовах з потенційними інвесторами та меценатами мені прямо кажуть, що слід показати, «під що» ви хочете отримати фінансування. І якщо йдеться про чисту науку, приватним науковим фондам потрібна буде абсолютна впевненість, що вони фінансують саме найкращих вчених. Це гроші спонсорів, фондів, і вони пильно стежать за тим, щоб ці кошти не розпорозувалися.

Мені здається, що Академії вже зараз потрібно готувати положення про Центри досконалості НАН України чи аналогічні «точки кристалізації» найкращих, розробляти схему

міжнародної експертизи і вже зараз починати працювати із західними науковими фондами відносно фінансування.

І ще про наше майбутнє. Трошки оптимізму. Кажуть, що схильність до математики зумовлена генетично. Під час Першої наукової π -конференції, яку організувала Мала академія наук, я пересвідчився, що молоді українці мають цей «математичний» ген. Залишилося їх вивчити (було б кому!) і зробити так, щоб вони хотіли працювати в Україні. Наша академічна наукова молодь працює зі школярами переважно в приватних та спеціалізованих фізико-математичних школах, але навіть там є проблема з наявністю гарних підручників. Як можемо допомагати. Посилився тиск щодо скорочення годин, виділених у школах на математику. Боремося.

Однак хочеться більшого. Зараз адміністрація Інституту математики обговорює можливість створення на території установи коворкінгу з математичних студій (наука, бізнес та освіта) для вчених-математиків, науковців інших спеціальностей, представників бізнесу, студентів. Можливо, потрібно залучати й талановитих школярів? Подумаємо. Знаємо, що Академія грошей зараз на це не має, а от підтримку іншого роду проситимемо.

Дякую за увагу!

Переможемо!

Слава Україні!