

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, завідувача кафедри програмного забезпечення

Вінницького національного технічного університету

Романюка Олександра Никифоровича

на дисертаційну роботу Шуніна Олександра Юрійовича

на тему «Нейромережеві методи виявлення аномалій у полях фізичних величин», подану на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань

12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми дисертації

Актуальність дисертаційної роботи О. Ю. Шуніна «Нейромережеві методи виявлення аномалій у полях фізичних величин» зумовлена необхідністю розвитку сучасних методів інтелектуального аналізу складних, різнорідних і просторово-часових даних, які надходять від багатоканальних сенсорних систем. У багатьох практично важливих задачах об'єкт інтересу не спостерігається безпосередньо, а проявляється через слабкі, нелінійні та зашумлені зміни фізичних полів. За таких умов традиційні алгоритми оброблення окремих сигналів не завжди забезпечують необхідну достовірність виявлення, класифікації та локалізації об'єктів, що зумовлює потребу в застосуванні методів машинного навчання і оброблення даних нейронними мережами. Саме недостатня розробленість нейромережевих методів аналізу аномалій за різнорідними сенсорними даними визначена автором як одна з основних наукових задач дослідження.

Особливої актуальності ця задача набуває через суттєву неоднорідність інформації, що формується різними сенсорами. Такі потоки відрізняються фізичною природою, частотами дискретизації, просторовою роздільною здатністю, форматами представлення, рівнями шумів і системами координат. Тому просте об'єднання результатів окремих сенсорів не створює повноцінного інформаційного опису досліджуваної області. Необхідним стає розроблення методів часового і просторового узгодження, формування єдиного структурованого представлення, виділення інформативних ознак і подальшого

інтелектуального злиття даних. Аналіз, проведений у дисертації, показує, що значна частина відомих мультисенсорних систем обмежується двоканалними рішеннями або злиттям на рівні кінцевих рішень, що не дозволяє повністю використати міжканальні залежності. Додатковими задачами залишаються дефіцит репрезентативних польових наборів даних, доменний зсув і вимоги до обчислень у режимі, близькому до реального часу.

Саме зазначені аспекти найбільш переконливо визначають актуальність роботи для спеціальності 122 «Комп'ютерні науки». Наукове ядро дисертації становить не створення окремих вимірювальних пристроїв і не дослідження фізичних властивостей сенсорів як таких, а розроблення моделей, методів і алгоритмів представлення, оброблення, злиття та інтелектуального аналізу даних. Об'єктом роботи є процеси нейромережевого пошуку, виявлення, класифікації та локалізації аномалій, а предметом — нейромережеві методи реалізації цих процесів із використанням структурованого подання різномірної сенсорної інформації. Для розв'язання поставлених задач застосовано машинне навчання, розпізнавання образів, цифрове оброблення сигналів, тензорне представлення, мультисенсорне злиття, статистичний аналіз та експериментальне оцінювання моделей.

Тому БПЛА, імпульсний металошукач, магнітометр, мультиспектральна камера та георадар у цій роботі слід розглядати насамперед як джерела різномірної цифрової інформації, тоді як центральною науковою задачею є перетворення цих потоків на узгоджене інформаційне подання, придатне для автоматизованого аналізу. Такий підхід принципово відрізняє дисертацію від суто апаратних, фізичних або вимірювальних досліджень: міждисциплінарна прикладна задача формалізується як задача інформаційного моделювання та інтелектуального оброблення даних. Це прямо відзначено й у самій роботі.

Важливим чинником актуальності є також необхідність переходу від аналізу окремих сенсорних сигналів до комплексних структурованих представлень. У дисертації передбачено формування тензорного подання $T(x, y, k)$, використання ансамблевих нейромережевих моделей, розвиток фізично-

інформованого навчання та створення програмних засобів для роботи з мультисенсорними даними. Отже, досліджуються характерні для комп'ютерних наук задач: представлення даних, машинне навчання на неоднорідних вибірках, класифікація, виявлення аномалій, злиття інформації, побудова інтелектуальних систем та забезпечення їх роботи в умовах обмежених обчислювальних ресурсів.

Практичну значущість підсилює її спрямованість на задачі гуманітарного розмінування, дистанційного обстеження потенційно небезпечних територій, моніторингу ґрунтів, геофізичного та екологічного контролю. Водночас розроблені рішення не обмежуються лише пошуком вибухонебезпечних предметів, оскільки орієнтовані на загальну задачу інтелектуального аналізу аномалій у різномірних фізичних полях. Це розширює можливості застосування результатів і підвищує їх наукову цінність.

Додатковим підтвердженням актуальності є відповідність тематики державним пріоритетам у сфері інформаційних і комунікаційних технологій. У дисертації зазначено її зв'язок із напрямками «Комп'ютерна обробка сигналів різних видів та походження», «Системи штучного інтелекту» та «Інтелектуальні інтерактивні інформаційно-аналітичні системи».

Таким чином, актуальність дисертації для спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» визначається необхідністю створення нових методів структурованого подання, узгодження, злиття та оброблення даних нейронними мережами різномірних даних в умовах шумів, обмеженості навчальних вибірок, доменного зсуву та вимог реального часу. Саме розвиток методів роботи з даними, а не нарощування кількості сенсорів, становить основний зміст дослідження, що в самій дисертації безпосередньо пов'язується зі спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Наукова та структурна характеристика результатів дослідження

Дисертаційна робота О. Ю. Шуніна має логічно побудовану структуру, яка забезпечує послідовний перехід від постановки наукової задачі та аналізу сучасного стану її розв'язання до розроблення інформаційних моделей,

нейромережових методів, формування навчальних даних, програмної реалізації та експериментальної перевірки отриманих результатів. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 274 сторінки, з яких 217 сторінок основного тексту; робота містить 38 рисунків, 14 таблиць, 72 найменування використаних джерел і 6 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми та сформульовано наукову задачу, пов'язану з недостатньою розробленістю нейромережових методів виявлення аномалій у полях фізичних величин за різнорідними сенсорними даними. Автор показує, що безпосереднім інформаційним об'єктом аналізу є не прихований фізичний об'єкт, а зумовлене ним відхилення фізичного поля від фоновому стану. Визначено основне протиріччя між необхідністю спільного нейромережевого опрацювання різнорідних сенсорних потоків та відсутністю узгодженого часового, просторового і структурного представлення таких даних.

У вступі сформульовано мету дослідження – підвищення достовірності пошуку та точності локалізації аномалій шляхом розроблення нейромережових методів їх пошуку, виявлення, класифікації та локалізації за мультисенсорними даними БПЛА-платформи. Відповідно до мети визначено задачі, об'єкт і предмет дослідження та методичний апарат. Сформульовано положення наукової новизни. Також розкрито практичне значення, особистий внесок здобувача, апробацію та публікації за темою роботи.

У першому розділі проведено системний аналіз задачі виявлення аномалій у полях фізичних величин і сучасних методів її розв'язання. Проаналізовано особливості одноканальних і мультисенсорних систем, класичних методів машинного навчання, глибоких нейронних мереж та засобів попереднього опрацювання даних. Обґрунтовано, що для розглядуваної задачі необхідно відокремлювати фонову й аномальну складові, шуми та артефакти, а також цільові й нецільові аномалії. Встановлено доцільність використання фізично різнорідних каналів та показано обмеженість окремого застосування кожного з них у складних польових умовах.

Науково важливим результатом першого розділу є визначення невирішених задач і формування напрямів подальшого дослідження: просторово-часове узгодження різнорідних потоків, створення структурованого представлення багатоканальних даних, розроблення нейромережових методів виявлення та класифікації, локалізація аномалій і побудова карт ризику.

У другому розділі розроблено цілісну архітектуру злиття різнорідних сенсорних даних. Визначено основні етапи інформаційного конвеєра: синхронізацію потоків, просторову прив'язку, перетворення часових сигналів у просторово прив'язані дані, інтерполяцію на єдину координатну сітку та формування мультисенсорного тензора.

У цьому ж розділі обґрунтовано гібридну архітектуру злиття даних, побудовано наскрізний конвеєр опрацювання РІ-сигналів, сформульовано задачі виявлення, локалізації та мультикласової ідентифікації. Розроблено чотиривимірну модель поля аномалій, інформаційну модель дистанційного моніторингу та карту ризику як кінцевий геоінформаційний продукт.

У третьому розділі безпосередньо розроблено нейромережові методи виявлення та класифікації аномалій. На основі аналізу структури вхідних даних обґрунтовано використання компактних 1D-CNN для часових РІ-сигналів, двовимірних згорткових мереж для просторових представлень та ансамблевого стекінгу для інтеграції результатів. Подальший розвиток отримала ансамблева архітектура зі стекінгом. Запропоновано структуру мультисенсорного злиття зі спеціалізованими нейромережевими гілками та адаптивним зважуванням каналів. Розвинуто фізично-інформований підхід шляхом включення у функцію втрат складових, які враховують фізичні закономірності сигналів. Окремо визначено умови реалізації нейромережових алгоритмів у режимі реального часу на мобільних обчислювальних платформах.

У четвертому розділі вирішено комплекс задач, пов'язаних із формуванням якісних навчальних даних і організацією місій їх отримання. Запропоновано багатоетапне планування польотів із попереднім виділенням зон інтересу, детальним мультисенсорним обстеженням та адаптивним уточненням. У цьому

розділі також розроблено процедури нормування та балансування класів, формування складних негативних прикладів і просторово коректного розбиття вибірок. Запропоновано фізично обґрунтовану аугментацію та синтетичне розширення даних. Формалізовано задачу доменного зсуву та запропоновано стратегію «лабораторне навчання – польове донавчання», а також визначено підходи до моніторингу моделей під час експлуатації.

У п'ятому розділі здійснено програмну реалізацію та експериментальну перевірку розроблених підходів. Побудовано окремі програмні конвеєри для РІ-сигналів, магнітометричних і георадарних даних. Реалізовано попереднє опрацювання сигналів, виділення ознак, оброблення даних нейронними мережами, локалізацію та формування відповідних цифрових карт. Створено програмні засоби мультисенсорного злиття, ансамблевої класифікації та формування інтегральної карти ризику. Механізм адаптивного зважування каналів розроблено на архітектурному рівні, тоді як його повна кількісна перевірка потребує окремого експериментального дослідження.

Найповніше експериментальну перевірку виконано для РІ-каналу на лабораторних і польових даних. Магнітометричний програмний модуль перевірено на демонстраційних синтетичних даних, а георадарний – на відкритих наборах даних і синтетичних радарограмах. Це підтвердило працездатність окремих програмних конвеєрів, але не замінює повної апробації інтегрованої системи на реальних синхронних потоках усіх сенсорних каналів.

У загальних висновках здійснено системне узагальнення отриманих наукових і практичних результатів відповідно до поставленої мети та задач. Основним результатом визначено розв'язання науково-практичної задачі розроблення нейромережових методів пошуку, виявлення, класифікації та локалізації аномалій за різнорідними сенсорними даними.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Удосконалено нейромережевий метод виявлення і класифікації аномалій у полях фізичних величин за мультисенсорними даними БПЛА-платформи, який, на відміну від методів незалежного аналізу окремих сенсорних каналів, використовує геометрично узгоджене 14-канальне тензорне подання $T(x, y, k)$, спеціалізовані нейромережеві гілки та стекінговий метакласифікатор, що забезпечує спільне врахування інформації різної фізичної природи. Для окремо перевіреної РІ-гілки на лабораторній вибірці із шести класів одержано точність класифікації 95,5 % та macro-F1 0,952. В окремому опублікованому дослідженні ансамблевої класифікації стекінговий метакласифікатор забезпечив зменшення кількості помилок на 13–17 % порівняно з голосуванням більшістю.
2. Вперше розроблено чотиривимірну модель поля аномалій $S(c, X, Y, t)$ для даних імпульсної індукції, яка, на відміну від табличного представлення окремих часових розгортки, одночасно враховує канал приймання, просторові координати точки зондування та час релаксації відгуку. Модель забезпечує структуроване просторово-часове подання РІ-даних для їх подальшого оброблення нейронними мережами. У межах реалізованого РІ-конвеєра застосування різницевого каналів та енергетичного центроїда дало змогу зменшити похибку локалізації вздовж поперечної осі приблизно з 35 см до одиниць сантиметрів, а час оброблення одного вектора даних становить менше 4 мс.
3. Удосконалено метод часового узгодження різнорідних вимірювальних потоків мультисенсорної БПЛА-платформи, який відрізняється апаратною прив'язкою сенсорних каналів до спільного опорного сигналу та формуванням єдиної часової шкали вимірювань. За наведеним у роботі бюджетом похибок просторовий еквівалент взаємного часового зміщення потоків не перевищує 2–4 см, що створює умови для геометрично коректного об'єднання сенсорних даних.

4. Удосконалено метод просторової прив'язки мультисенсорних вимірювань, який поєднує автономну кінематику реального часу з кількісним обґрунтуванням точності геоприв'язки. Метод забезпечує похибку геоприв'язки 1–8 см у польових умовах. Після просторового узгодження дані різних каналів інтерполюються на регулярну сітку 10×10 см, на основі якої формується 14-канальне тензорне подання $T(x, y, k)$.
5. Набув подальшого розвитку метод побудови фізично-інформованих нейронних мереж для виявлення аномалій, який відрізняється введенням до функції втрат регуляризаційних складових, що враховують структурні інваріанти сенсорних сигналів, зокрема дипольну модель магнітної аномалії та багатоекспоненційне затухання вихрових струмів, що створює передумови для підвищення узагальнювальної здатності нейромереж за обмеженої кількості розмічених даних.

Практичне значення отриманих результатів

Практична цінність роботи полягає в розробленні алгоритмів і комплексу програмних модулів для оброблення РІ-сигналів, магнітометричних і георадарних даних, формування навчальних вибірок, мультисенсорного злиття інформації та побудови інтегральної карти ризику. Програмні засоби охоплюють попереднє оброблення сенсорних даних, класифікацію, локалізацію аномалій і формування інформації для підтримки прийняття рішень.

Дотримання вимог академічної доброчесності, мова та стиль викладення результатів

Аналіз дисертаційної роботи О. Ю. Шуніна дає підстави вважати, що її оформлення та представлення наукових результатів загалом відповідають принципам академічної доброчесності. У дисертації використані положення та результати інших дослідників супроводжуються бібліографічними посиланнями. Важливим є також чітке розмежування особистого внеску здобувача у працях, виконаних у співавторстві. Зокрема, автором зазначено власний внесок у

розроблення інформаційної моделі дистанційного зондування ґрунту, методів часового та просторового узгодження різнорідних даних, їх тензорного представлення, формування експериментальних наборів даних, дослідження ансамблевих класифікаторів, а також у вирішення задач планування місій БПЛА.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій

Перевірка результатів здійснювалася із застосуванням експериментальних, статистичних і порівняльних методів. Кількісні результати для РІ-каналу отримано на лабораторних і польових даних; магнітометричний модуль перевірено на демонстраційних синтетичних даних, а георадарний – на відкритих наборах даних і синтетичних радарограмах.

Обґрунтованість основних наукових результатів забезпечується послідовним переходом від аналізу різнорідних сенсорних даних до їх просторово-часового узгодження, формування структурованого тензорного подання та подальшого оброблення даних нейронними мережами. Заявлене підвищення достовірності виявлення та точності визначення просторового положення аномалій пов'язується з використанням узгодженого представлення сенсорних потоків, ансамблевої нейромережевої класифікації та фізично-інформованої регуляризації.

Висновки за окремими розділами та загальні висновки дисертації відповідають змісту виконаних досліджень і відображають результати вирішення поставлених задач. Рекомендації щодо використання розроблених моделей і методів у системах інтелектуального аналізу фізичних полів мають практичне підґрунтя, оскільки при проєктуванні враховано обмеження мобільних обчислювальних платформ, вимоги автономності та можливість функціонування в режимі, близькому до реального часу.

Таким чином, наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи мають належний рівень теоретичного, алгоритмічного та

експериментального обґрунтування, узгоджуються з отриманими результатами і в цілому можуть вважатися достовірними в межах проведених досліджень.

Повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях

Основні наукові положення та результати дисертаційної роботи О. Ю. Шуніна достатньо повно відображені в опублікованих працях здобувача. За тематикою дисертації опубліковано 10 наукових праць, серед яких одна стаття у виданні, що індексується наукометричною базою Scopus, одна стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, дві статті у фахових виданнях України категорії «Б», розділи колективної монографії та матеріали п'яти наукових заходів, одна з публікацій яких також індексується у Scopus.

У публікаціях представлено складові дисертаційного дослідження, зокрема питання побудови мультисенсорної БПЛА-платформи, інформаційного моделювання дистанційного зондування, часового та просторового узгодження різнорідних потоків даних, їх тензорного представлення, формування лабораторних і польових вибірок, застосування ансамблевих нейромережових класифікаторів та використання синтетичних даних. Особистий внесок здобувача в роботах, виконаних у співавторстві, у дисертації конкретизовано окремо.

Оприлюднені результати відповідають основним науковим положенням, що виносяться на захист, і охоплюють як методи підготовки та структурованого представлення мультисенсорної інформації, так і її нейромережеве опрацювання, класифікацію та локалізацію аномалій.

Отже, основні наукові положення, результати та практичні напрацювання дисертації достатньо повно представлені в опублікованих працях здобувача, а їх тематика відповідає змісту дисертаційного дослідження та положенням, винесеним на захист.

Обґрунтування відповідності дисертаційної роботи спеціальності 122

«Комп'ютерні науки»

Дисертаційна робота О. Ю. Шуніна «Нейромережеві методи виявлення аномалій у полях фізичних величин» за своїми метою, об'єктом, предметом, методологією та отриманими науковими результатами відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки». Її наукове ядро становить розроблення методів подання, оброблення, аналізу та інтелектуального злиття різнорідних даних із застосуванням сучасних нейромережевих технологій.

Метою дисертації є підвищення достовірності пошуку та точності локалізації аномалій у полях фізичних величин шляхом розроблення нейромережевих методів їх пошуку, виявлення, класифікації та локалізації за мультисенсорними даними БПЛА-платформи. Для досягнення поставленої мети передбачено розроблення тензорного представлення мультисенсорних даних, нейромережевого методу виявлення і класифікації аномалій, розвиток фізично-інформованих нейронних мереж, створення програмних засобів оброблення даних та експериментальну перевірку запропонованих моделей і методів.

Об'єктом дослідження визначено процеси нейромережевого пошуку, виявлення, класифікації та локалізації аномалій за даними мультисенсорних вимірювальних систем, а предметом — нейромережеві методи виконання цих задач з урахуванням структурованого подання різнорідних сенсорних даних. Таким чином, об'єкт і предмет роботи безпосередньо пов'язані з інтелектуальним аналізом даних, машинним навчанням і побудовою інформаційних моделей, що є характерними напрямками комп'ютерних наук.

Методологічний апарат дисертації також підтверджує її відповідність спеціальності 122. У роботі використано нейромережеві методи, машинне навчання, розпізнавання образів, цифрове оброблення сигналів, методи часового і просторового узгодження сенсорних потоків, злиття мультисенсорних даних, тензорного представлення, статистичного аналізу та порівняльного оцінювання результатів.

Важливим результатом роботи є формування 14-канального тензорного подання $T(x, y, k)$, яке створює геометрично узгоджену основу для спільного використання різнорідних даних. Нейромережева архітектура містить спеціалізовані гілки: одновимірні згорткові мережі для часових РІ-сигналів і двовимірні мережі для просторових подань. Результати окремих гілок об'єднуються стекінговим метакласифікатором. У роботі також розвинуто підхід до побудови фізично-інформованих нейронних мереж шляхом введення до функції втрат регуляризаційних складових, пов'язаних зі структурними інваріантами сенсорних сигналів.

Окрему увагу приділено формуванню навчальних вибірок, нормуванню даних, балансуванню класів, аугментації, використанню синтетичних даних, подоланню доменного зсуву та експериментальній оцінці якості моделей. Такі завдання безпосередньо належать до проблематики машинного навчання та аналізу даних. Розроблені методи реалізовано програмно; здійснюється фільтрація, інтерполяція, сегментація, нейромережеве оцінювання ймовірності аномалій і формування цифрових карт.

Дискусійні положення та зауваження

1. Повноцінна інтегрована схема злиття не була апробована на реальних синхронних потоках усіх сенсорних каналів; основну перевірку виконано переважно для РІ-каналу та синтетичних даних.
2. Метод часового узгодження базується на апаратній прив'язці сенсорних каналів до спільного опорного сигналу. Доцільно було б чіткіше сформулювати, які саме нові алгоритмічні або математичні положення відрізняють цей метод від відомих способів синхронізації вимірювальних систем.
3. Відмінність запропонованої чотиривимірної моделі обґрунтовується переважно порівнянням із табличним записом окремих вимірювань. Бажано було б порівняти її з відомими багатовимірними та тензорними моделями просторово-часових сигналів і чітко виділити нові властивості.

4. Формування регулярного багатоканального тензора шляхом інтерполяції різнорідних потоків є доцільним рішенням, однак необхідно переконливіше показати, у чому полягає саме новизна запропонованого представлення порівняно з відомими методами.
5. Недостатньо вивчено вплив параметрів формування вхідних даних на кінцевий результат. Зокрема, потребує додаткового обґрунтування вибір просторової сітки 10×10 см, розміру навчального фрагмента близько 1×1 м, а також параметрів компенсації фону й формування різницевих РІ-каналів.
6. Недостатньо розроблено питання пояснюваності нейромережових рішень. Для гуманітарного розмінування це особливо важливо, оскільки помилка класифікатора може мати серйозні наслідки. У роботі часткова інтерпретованість забезпечується фізично змістовними каналами тензора та явними вагами механізму уваги, за якими можна оцінити внесок окремих сенсорних гілок. Водночас спеціалізовані методи пояснюваного штучного інтелекту для аналізу конкретних рішень моделі не реалізовано; їх розвиток визначено як напрям подальших досліджень.
7. У теоретичній частині розглянуто РІ-, магнітометричний, мультиспектральний і георадарний канали. Водночас у конфігурації БПЛА основними є РІ-, магнітометричний та мультиспектральний канали, а в програмно-експериментальній частині окремо реалізовано георадарний модуль. Доцільно чіткіше пояснити, які канали входять до фактичної конфігурації платформи, а які є додатковими або перспективними.
8. Для ансамблевої нейромережової архітектури було б доцільно навести повніше абляційне дослідження, яке окремо показувало б внесок тензорного подання, стекінгу, адаптивного зважування та кожного сенсорного каналу у кінцевий результат.

Наведені зауваження не стосуються принципових положень дисертаційного дослідження та не знижують загальної позитивної оцінки роботи. Вони не ставлять під сумнів обґрунтованість основних наукових результатів, їх новизну, достовірність і практичну значущість, а також не впливають на загальний висновок щодо завершеності дисертаційної роботи.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Шуніна Олександра Юрійовича «Нейромережеві методи виявлення аномалій у полях фізичних величин» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальне науково-прикладне завдання підвищення достовірності пошуку та точності локалізації аномалій у полях фізичних величин шляхом розроблення нейромережевих методів їх пошуку, виявлення, класифікації та локалізації за мультисенсорними даними БПЛА-платформи. За актуальністю обраної теми, обсягом і рівнем виконаних досліджень, новизною та ступенем обґрунтованості отриманих результатів, повнотою їх викладу в наукових публікаціях і дотриманням принципів академічної доброчесності дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 6–9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44. Автор роботи, Шунін Олександр Юрійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент

доктор технічних наук, завідувач кафедри програмного
забезпечення Вінницького національного технічного
університету, заслужений діяч науки і техніки України.

Олександр РОМАНЮК