ЗАТВЕРДЖУЮ
Керівник підприємства/установи/організації Проректор з наукової роботи
КПІ імені Ігоря Сікорського
(посада)
Пасічник Віталій Анатолійович
ПІБ
(підпис)
М.П.

АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

про виконану роботу в рамках реалізації проєкту

із виконання наукових досліджень і розробок

"Платформа штучного інтелекту для дистанційного автоматизованого виявлення та діагностики захворювань людини"

(назва Проєкту)

Назва конкурсу: "Наука для безпеки людини та суспільства"

Реєстраційний номер Проєкту: 2020.01/0490

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.01/0490, Платформа штучного інтелекту для дистанційного автоматизованого виявлення та діагностики захворювань людини

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу **"Наука для безпеки людини та суспільства"** протокол від 16-17 вересня 2020 року № 21, рішення наукової ради Грантонадавача про продовження надання грантової підтримки (протокол № 41 від 23 грудня 2020 року) та про надання гранту у 2021 році (протокол № 15 від 13 травня 2021 року).

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Загальна тривалість виконання проєкту 2020 рік – 2021 рік

Тривалість виконання Проєкту у 2021 році

Початок – **18.05.2021р.** (дата укладання договору про виконання наукових досліджень і розробок);

Закінчення – **15.12.2021р.**

Загальна вартість Проєкту грн. **6 827 974**

Загальна вартість Проєкту по роках грн.:

1-й рік **2 750 694**

2-й рік **5 766 100**

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту буде залучено **9** виконавців, з них:

доктори наук **3**;

кандидати наук **2**;

інші працівники **4**.

1. ***Стіренко Сергій Григорович***, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", професор, завідувач кафедри обчислювальної техніки, доктор технічних наук
2. ***Гордієнко Юрій Григорович***, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", професор, доктор фізико-математичних наук
3. ***Сергієнко Анатолій Михайлович***, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", доцент, доктор технічних наук
4. ***Роковий Олександр Петрович***, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", доцент, кандидат технічних наук
5. ***Павлюченко Михайло Іванович***, Запорізький державний медичний університет, акушер-гінеколог, кандидат медичних наук
6. ***Алєнін Олег Ігорович***, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", старший викладач
7. ***Шемсединов Тимур Гафарович***, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", старший викладач
8. ***Кочура Юрій Петрович***, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", асистент, аспірант
9. ***Таран Владислав Ігорович***, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", асистент, аспірант

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА

3.1. Найменування підприємства/установи/організації

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Організаційно-правова форма підприємства/установи/організації

Державна організація (установа, заклад, підприємство)

Підпорядкованість підприємства/установи/організації

Міністерство освіти і науки України

Код ЄДРПОУ**: 02070921**

Код(и) КВЕД**: 72.19 – Дослідження й експериментальні розробки у сфері інших природничих і технічних наук**

Стратегічні напрями наукової діяльності

1. Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави. 2. Інформаційні та комунікаційні технології. 3. Енергетика та енергоефективність. 4. Раціональне природокористування. 5. Науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань. 6. Нові речовини і матеріали.

ПІБ керівника підприємства/установи/організації

Пасічник Віталій Анатолійович

Юридична адреса підприємства/установи/організації

просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056

Фактична адреса

просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056

Поштова адреса

просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056

Телефон

(+38 044) 204-82-82

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)

Основна мета проєкту полягає в створенні платформи штучного інтелекту (ШІ) для дистанційного автоматизованого виявлення (Computer-Aided Detection - CADe) і дистанційної автоматизованої діагностики (Computer-Aided Diagnostics - CADx) хвороб людини.

4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

Для досягнення цієї мети сформульовано наступні завдання:

- збір, аналіз та оцінка якості медичних датасетів,
- розробка алгоритмів глибокого навчання (DL) для виявлення анатомічної структури, сегментації, та CADe/CADx) підозрілих областей ;
- створення, навчання, валідація, тестування DL-моделей;
- реалізація хмарної ШІ-платформи із веб-сервісами на основі інтеграції відкритих та нових наборів даних.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

4.3.1 Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Застосування сучасних "розумних" інструментів на основі методів ШІ може значно допомогти в процесі аналізу надзвичайно великого обсягу медичних даних, включаючи одновимірні (1D) акустичні, двовимірні (2D) рентгенографічні, тривимірні (3D) КТ/МРТ томографії, багатоканальні електроенцефалографічні (ЕЕГ), як додатковий інструмент для аналізу та виявлення ознак захворювань експертами, що наразі є тривалим і складним процесом.

4.3.2 Новизна Проєкту (до 400 знаків)

На відміну від існуючих рішень пропонується використати кілька перспективних підходів на основі методів сегментації найбільш цікавих ділянок медичних даних, виключення несуттєвої інформації з медичних даних методами зменшення розмірності, застосуванні нових методів штучного збільшення різноманітності даних без втрати інформації та з втратою інформації, які були розроблені авторами цієї пропозиції.

4.3.3 Методологія дослідження (до 400 знаків)

Запропонована CADe/CADx методологія включає наступні послідовні та паралельні робочі потоки: (1) попередній збір, аналіз та оцінка датасетів, (2) сегментація найбільш цікавих ділянок (region of interest — ROI), (3) зменшення розмірності даних та штучне збільшення різноманітності даних, (4) розширені DL-методи класифікації захворювань, (5) розширені методи обробки надвеликих даних (Big Data).

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в рамках реалізації Проєкту, зокрема:

5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

Відповідно до календарного плану на момент завершення проєкту було отримано наступні науково-технічні результати:

1.Конфігурація придбаного обладнання із спеціалізованими прискорювачами типу GPU, яку налаштовано для використання в локальному та хмарному середовищі для потреб розробленої ШІ-платформи.

2.Віртуальні версії компонентів ШІ-платформи для використання на придбаному обладнанні із спеціалізованими прискорювачами типу GPU для використання в локальному та хмарному середовищі (віртуальні машини та контейнери із дистанційним мережевим доступом).

3.Програмне забезпечення (на основі хмарних серверів та клієнтів) для розробки та практичного використання DL-моделей, для зберігання та розширення наборів даних (JSRT, ChestXray, CheXpert, ISIC, ЕЕГ, та інші) та для взаємодії із користувачами (медичними працівниками) в практичних умовах.

4.Встановлені та адаптовані для використання набори закордонних та національних медичних даних (JSRT, ChestXray, CheXpert, CXR COVID-19, ISIC, ЕЕГ, та інші).

5.Розроблені науково обґрунтовані DL-моделі (на базі архітектур DenseNet, ResNet, InceptionResNet, Inception, Xception, EfficientNet, VGG та їхніх модифікованих версій та ансамблів), які були та адаптовані для використання в якості ШІ-асистентів лікаря на базі розробленої ШІ-платформи.

6.Результати тестів обладнання та програмного забезпечення для компонентів ШІ-платформи та ШІ-платформи в цілому для застосування у практичних умовах.

7.Конфігурація придбаного обладнання (модулей для периферійних обчислень (включно із Google Coral, Intel Movidius, тощо) та розробленого програмного забезпечення для використання в польових умовах.

8.ШІ-платформа (інтегрована апаратна та програмна інфраструктура) на базі придбаного, налаштованого та протестованого апаратного забезпечення із розробленим програмним забезпеченням медичного призначення (включно із встановленими та адаптованими для використання науково обґрунтованими DL-моделями).

9.Прототип ШІ-платформи, тобто пілотний варіант конфігурації ШІ-платформи (серверна сторона та веб-інтерфейс для медичного працівника).

10.На основі результати тестів ШІ-платформи, модулю для периферійних обчислень і врахування зворотного зв'язку від медичних працівників зроблено висновки щодо техніко-економічного обґрунтування подальшої імплементації та масштабування ШІ-платформи для використання в CADe та CADx в практичних умовах.

10.На основі отриманих під час проєкту результатів підготовлено та опубліковано 12 публікацій міжнародного рівня, які усі обліковуються у Scopus, з яких 1 стаття опублікована у виданні із квартилем Q1 (як розділ книги Advances in Computers видавництва Elsevier), а решта 11 публікацій - у виданнях із невизначеним наразі квартилем, де 6 публікацій - у періодичних виданнях IEEE, а 5 публікацій — у періодичних виданнях науково-технічного видавництва Springer, також додатково зроблено 3 доповіді на міжнародній онлайн-конференції в Україні.

11.Отримані під час проєкту результати (апаратні та програмні частини ШІ-платформи) впроваджені в навчальний процес факультету інформатики і обчислювальної техніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" для залучення студентів та аспірантів до сучасних

технологій штучного інтелекту в якості практичних занять у дисциплінах "Системи штучного інтелекту", "Методи Deep Learning", "Нейронні мережі", "Машинне навчання", "Основи науки про дані", "Технології глибинного навчання".

5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

Рентгенографія часто розглядається як застарілий метод медичної візуалізації, але запропонована технологія дозволяє відродити високу значущість рентгенографії в діагностиці медичної візуалізації. Але для потреб масового скринінгу на відміну від наявних рішень пропонована хмарна ШІ-платформа може надати можливість раннього автоматичного виявлення / попередження на CRX-знімках підозрілих та загрозливих ознак більше 14 різних видів легеневих відхилень, навіть у звичайній лікарні та польових умовах без кваліфікованого персоналу. В кінцевому випадку ШІ-платформа може допомогти автоматично (без рентгенолога) сформувати і відправити оповіщення рентгенологу про необхідність додаткового обстеження в підозрілих випадках. Більше того, з високою ймовірністю це дозволить зменшити кількість «помилково негативних» попереджень, коли пацієнти спочатку були неправильно діагностовані рентгенологами.

На відміну від наявних рішень отриманий інтегрований набір даних (датасет) на прикладі даних для COVID-2019 є базовою передумовою для подальших досліджень (на наступних етапах проєкту) можливостей віртуального прототипу апаратної / програмної інфраструктури (хмарної ШІ-платформи) для раннього автоматичного виявлення / попередження підозрілих та загрозливих ознак різних видів хвороб (легеневих хвороб, меланоми, шийки матки, тощо), навіть у звичайній лікарні та польових умовах без кваліфікованого персоналу. В кінцевому підсумку отриманий інтегрований датасет у комбінації із адаптованими моделями стане відправним орієнтиром для подальшого покращення її метрик та характеристик для використання в якості допоміжного інструменту в роботі медиків, наприклад, для формування і відправлення оповіщень про необхідність додаткового обстеження в підозрілих випадках.

В подальшій роботі на основі цієї ШІ-платформи передбачається створити загальний каркас для нанизування-додавання автоматизованих ШІ медичних сервісів з використанням наявних локальних та глобальних медичних даних (МРТ, КТ, ЕЕГ, ультразвуку, рентгенографії, оптичних методів, аналізу часових послідовностей показників датчиків) для полегшення процедури виявлення аномалій в органах та діагностики потенційних хвороб на ранніх стадіях їх виникнення. Фактично ШІ-платформа є прототипом інфраструктури для інтеграції сучасних та майбутніх медичних сервісів на основі ШІ-технологій для виявлення найбільш небезпечних захворювань в їх ранніх і часто безсимптомних стадіях (скринінгу), на яких лікування ефективніше, максимально поширити обсяг охоплення пацієнтів сучасними медичними технологіями, вивести скринінгові, профілактичні та діагностичні процедури на персоналізований рівень, та зменшити навантаження на медичний персонал (сімейних лікарів та медсестер).

5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)

Практична цінність результатів полягає у створенні інтегрованого набору даних (датасету) на прикладі даних для COVID-2019, який містить зразки даних із великим ступенем різноманітності по відношенню до способу збору даних (різні процедури рентгенографічного обстеження, різна роздільна здатність, різна якість знімків, тощо) та їх маркування (експертного висновку щодо наявності аномалій та ознак певних хвороб). Саме наявність різноманітності у даних дозволяє в максимально можливій мірі відтворити умови реального світу для її врахування на подальших етапах при використанні розроблених адаптованих моделей у практичних умовах для досягнення реальних практичних цілей моніторингу і скринінгу.

Вищезазначені прототипи - розроблені ШІ-моделі та діагностична ШІ-платформа (в більш широкому контексті дистанційного CADe/CADx інших захворювань) - можуть бути закладені в основу комерційних продуктів, які можуть продаватися за підпискою на веб-сервіси або як окремі продукти (наприклад, зашифровані коробочні версії для автономного використання)

Обсяг потенційного ринку для їх застосування в місцевих лікарнях без рентгенологів (для попередньої діагностики) або з рентгенологами (як їх автоматичний помічник) для попереднього дистанційного CADe/CADx навіть у випадку захворювань легенів є надзвичайно величезним від окремої спільноти (> 1-5 млн.), нації (> 10-100 млн.), і навіть у всьому світі (~ мільярди), наприклад, у випадку сучасної пандемії COVID-2019.

5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.

В результаті виконання цього проєкту було перевірено способи врахування різноманітності даних у зібраному датасет на прикладі хвороб легенів, серця, які зазвичай виявляються та діагностуються за допомогою різноманітних методів, наприклад, рентгенографії грудної клітки для легеневих захворювань та кількох інших захворювань як меланома, рак шийки матки, тощо. Це дозволить на наступних етапах отримати оцінки розбіжності у визначенні кількісних метрик моделей (через процедури штучного розширення обсягу даних та перехресної крос-валідації) для автоматичного скринінгу хвороб людини на основі медичних датасетів , а в подальшому розвитку на наступних етапах знайти шляхи покращення ШІ-платформи для автоматичного скринінгу хвороб людини, використання на основі інших медичних даних (КТ, МРТ, ЕЕГ, тощо) та започаткувати створення загальнонаціонального датасету для цих даних.

В результаті виконання проєкту створені науково-технічні засади для створення національного CXR-датасету на основі даних місцевих та національних медичних зображень від українських пацієнтів. Наразі існує нагальна потреба у створенні та підтримці поточного національного CXR-датасету (наприклад, аналогічні ініціативи започатковані у США, Китаї, Іспанії та інших країнах), який можна постійно та систематично збільшувати та оновлювати. Справ в тому, що згідно з медичними даними, зображення легенів зазвичай є специфічними для певного регіону, країни та континенту, тому потреба в локально розробленому рішенні дуже велика, яка може бути представлена як окреме більш точно налаштоване рішення. Тому найбільш ефективні DL-моделі можуть бути повторно навчені / оновлені (більш точно налаштовані) відповідно до оновлення національного CXR-датасету, аби забезпечити більш стійкі і надійні версії DL-моделей для споживачів (медичних закладів та пацієнтів) на національному рівні.

Ще одним перспективним наслідком проєкту є науково-технічна база для CXR-скринінгу в національному масштабі (наприклад, аналогічні ініціативи започатковані у США, Китаї, та інших країнах) для початкового виявлення ознак найбільш загрозливих захворювань (раку, туберкульозу, пневмонії, включно із COVID-2019).

З огляду на перебіг подій під час пандемії COVID-2019 та її катастрофічних наслідків, в цілому, цей проєкт та його можливе продовження варто розглядати з позицій підвищення безпеки людей в національному масштабі. Тому подальшу підтримку і фінансування ШІ-платформи варто було б розглядати на постійній бюджетній основі, а не спорадичних діях в рамках непередбачуваного грантового фінансування.

Подальший перспективний розвиток хмарної ШІ-платформи полягає у інтеграції, тренуванні / валідації / тестування та прогнозування медичних аномалій не тільки на основі таких медичних даних, як 2D CRX-зображення (як в даному конкретному випадку), але і для 3D КТ / МРТ зображень, які є найбільш перспективними засобами діагностики в даний час і в майбутньому.

Список публікацій, які було підготовлено і подано до друку (із згадуванням гранту НФДУ) під час проєкту:

На основі отриманих результатів підготовлено 12 публікацій міжнародного рівня, які усі обліковуються у Scopus, з яких 1 стаття опублікована у виданні із квартилем Q1 (як розділ книги Advances in Computers видавництва Elsevier), а решта 11 публікацій – у виданнях із невизначеним наразі квартилем, де 6 публікацій – у періодичних виданнях IEEE, а 5 публікацій – у періодичних виданнях науково-технічного видавництва Springer, також додатково зроблено 3 доповіді на міжнародній онлайн-конференції в Україні.

1. Y. Gordienko, Y. Kochura, V. Taran, N. Gordienko, O. Rokovyi, O. Alienin, and S. Stirenko, "Last mile" optimization of edge computing ecosystem with deep learning models and specialized tensor processing architectures," in Advances in Computers, vol. 122. Elsevier, 2021, pp. 303–341.7 DOI: 10.1016/bs.adcom.2020.10.003. Quartile by Scimago: Q1, Scopus EID: 2-s2.0-85097100424.

2. A. Prasolov, S. Stirenko, and Y. Gordienko, "Improvement of image super resolution by deep neural networks," in IEEE EUROCON 2021-19th International Conference on Smart Technologies. IEEE, 2021, pp. 140–145. DOI: 10.1109/EUROCON52738.2021.9535575. Quartile by Scimago: not defined, Scopus EID: 2-s2.0-85116268246.

3. D. Vasylenko, S. Stirenko, and Y. Gordienko, "Improvement of image compression performance by deep neural networks," in IEEE EUROCON 2021-19th International Conference on Smart Technologies. IEEE, 2021, pp. 135–139. DOI: 10.1109/EUROCON52738.2021.9535628. Quartile by Scimago: not defined, Scopus EID: 2-s2.0-85116239112.

4. R. Statkevych, S. Stirenko, and Y. Gordienko, "Human kidney tissue image segmentation by u-net models," in IEEE EUROCON 2021-19th International Conference on Smart Technologies. IEEE, 2021, pp. 129–134. DOI: 10.1109/EUROCON52738.2021.9535599. Quartile by Scimago: not defned, Scopus EID: 2-s2.0-85116218112.

5. R. Statkevych, Y. Gordienko, and S. Stirenko, "Improving pedestrian detection methods by architecture and hyperparameter modification of deep neural networks," in The International Conference on Artificial Intelligence and Logistics Engineering. Springer, 2021, pp. 44–53. DOI: 10.1007/978-3-030-80475-6_5. Quartile by Scimago: not defined, Scopus EID: 2-s2.0-85111945104.

6. Y. Gordienko, K. Kostiukevych, N. Gordienko, O. Rokovyi, O. Alienin, and S. Stirenko, "Deep learning for grasp-and-lift movement forecasting based on electroencephalography by brain-computer interface," in The International Conference on Artificial Intelligence and Logistics Engineering. Springer, 2021, pp. 3–12. DOI: 10.1007/978-3-030-80475-6_1. Quartile by Scimago: not defined, Scopus EID: 2-s2.0-85111916730.

7. K. Kostiukevych, , S. Stirenko, N. Gordienko, O. Rokovyi, O. Alienin, and Y. Gordienko, "Convolutional and recurrent neural networks for physical action forecasting by brain-computer interface," in The 11-th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, Cracow, Poland, 2021, quartile by Scimago: not defined.

8. V. Doms, Y. Gordienko, Y. Kochura, O. Rokovyi, O. Alienin, and S. Stirenko, "Deep learning for melanoma detection with testing time data augmentation,"

in The International Conference on Artificial Intelligence and Logistics Engineering. Springer, 2021, pp. 131–140. DOI: 10.1007/978-3-030-80475-6_13. Quartile by Scimago: not defined, Scopus EID: 2-s2.0-85111907622. 9. V. Valko, S. Stirenko, I. Babarykin, and Y. Gordienko, "Provenance detection system for deep learning content in healthcare," in IEEE EUROCON 2021-19th International Conference on Smart Technologies. IEEE, 2021, pp. 146–151. DOI: 10.1109/EUROCON52738.2021.9535621. Quartile by Scimago: not defined, Scopus EID: 2-s2.0-85116224136.

10. V. Taran, Y. Gordienko, O. Alienin, O. Rokovyi, Y. Kochura, and S. Stirenko, "Edge intelligence for medical applications under field conditions," in The Second International Conference on Artificial Intelligence and Logistics Engineering. Kyiv, Ukraine: Springer, 2021, рукопис передано на рецензування.

11. Y. Gordienko, K. Kostiukevych, N. Gordienko, O. Rokovyi, O. Alienin, and S. Stirenko, "Deep learning with noise data augmentation and detrended fluctuation analysis for physical action classification by brain-computer interface," in 8th

International Conference on Soft Computing & Machine Intelligence (ISCMI 2021). IEEE, 2021, зроблено доповідь, рукопис передано до друку.

12. O. Alienin, O. Rokovyi, Y. Gordienko, Y. Kochura, V. Taran, and S. Stirenko, "Artificial intelligence platform for distant computer-aided detection (CADe) and computer-aided diagnosis (CADx) of human diseases," in The Fifth International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications. Kyiv, Ukraine: Springer, 2021, рукопис передано до друку.

Доповіді на конференціях.

Деякі отримані результати були представені на конференціях.

1. K. Kostiukevych, Y. Gordienko, and S. Stirenko, "Multimodal data integration and processing method for brain-computer interface research," in 6th International Conference High Performance Computing, Kyiv, Ukraine, November 06 – 07 2020, quartile by Scimago: not defined.

2. M. Shulha, Y. Gordienko, and S. Stirenko, "Comparative analysis of the datasets with multimodal content," in 6th International Conference High Performance Computing, Kyiv, Ukraine, November 06 – 07 2020, quartile by Scimago: not defined.

3. V. Valko, Y. Gordienko, O. Alienin, O. Rokovyi, S. Stirenko, G. Fedak, and O. Lodygensky, "Blockchain and smart contracts for provenance of deep learning content in healthcare," in 6rd International Conference of High Performance Computing (HPC-UA), Kyiv, Ukraine, November 06 – 07 2020, quartile by Scimago: not defined.

Отримано запрошення від проф. Ніколаса Лімніоса (Nikolaos LIMNIOS), гоовного редактора відділу математики та статистики видавництва ISTE WILEY Science Publishing Ltd, щодо публікації результатів по проєкту в вигляді монографії під робочою назвою "Deep Machine Learning in Engineering Applications" (лист додається у кінці ДОДАТОК А заключного звіту).

Примітка: Анотований звіт не повинен містити відомостей, заборонених до відкритого опублікування

Науковий керівник Проєкту
Завідувач кафедри обчислювальної техніки
(посада)
Стіренко Сергій Григорович
ПІБ
(підпис)