

## **ВІДГУК**

опонента Позняка Валерія Дмитровича  
на дисертаційну роботу Гаращенко Ярослава Миколайовича  
**«Основи технологічної підготовки процесів виготовлення  
складних виробів при матеріалізації процесів 3D-моделей  
адитивними методами»**,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування

### **Актуальність теми.**

Нинішній розвиток машинобудівної галузі вимагає від виробників сучасних машин та механізмів, пошуку новітніх технологічних процесів щодо виготовлення вузлів та комплектуючих деталей, які мають забезпечити високу якість виробів в цілому. Першочергова задача таких технологічних процесів полягає в тому, щоб такі вироби були створені з мінімальними матеріальними та фінансовими затратами, а також часу на їх виготовлення. В особливості це стосується складних за формою виробів, які не можуть бути розчленовані на окремі деталі і відповідно виготовляються з монолітного матеріалу за рахунок його механічної обробки. При цьому значна частина дороговартісного матеріалу, інколи до 70 - 80 %, перетворюється у відходи. Необхідність спеціалізованого обладнання та витрати часу, які потрібні для виконання певних операцій з механічного оброблення потребують додаткових фінансових ресурсів, що негативно позначається на собівартості продукції. Та навіть і в тих випадках, коли виріб може бути створений шляхом складання і з'єднання між собою окремих деталей, витрати на його виготовлення можуть бути значними, а довговічність такого виробу обмеженою.

Щоб вирішити вище наведену проблему та забезпечити гнучке ресурсозберігаюче виробництво в останні десятиліття в технічно розвинених країнах серед яких США, Японія, Китай, Південна Корея, Німеччина активно почали працювати над створенням адитивних технологій. Основною перевагою таких технологій є істотне скорочення часу повного циклу виготовлення виробів. В залежності від складності виробу цей час може бути скорочений в кілька разів.

Незважаючи на те, що собівартість виготовлення промислових виробів з

використанням адитивних технологій на даний час ще залишається досить значною, цьому процесу, особливо в останні роки приділяється все більша увага. Про це свідчить зростаюча кількість публікацій за напрямком. Більшість досліджень, які в них наводяться, спрямовані на вирішення проблеми підвищення ефективності технологічної підготовки процесів виготовлення виробів з використанням адитивних методів. На підставі цього можна зробити висновок, що дисертаційна робота Гаращенко Ярослава Миколайовича, яка спрямована на створення основ і системи технологічної підготовки процесів виготовлення складних виробів при матеріалізації 3D-моделей шляхом їх пошарового формоутворення та підвищення ефективності адитивних методів на базі об'єктно-орієнтованої методології статистичного аналізу геометричних даних, є актуальною і своєчасною.

Актуальність теми роботи підтверджується так само й тим, що вона пов'язана з виконанням низки держбюджетних тем МОН України: "Розробка теоретичних основ оптимізації прискореного формоутворення виробів на принципах генеративних технологій (Rapid Prototyping)" (ДР №0105U000576, 2005-2007 рр.), "Розробка методів прогнозування вихідних характеристик робочих процесів технологій пошарового виготовлення – Rapid Prototyping" (ДР №0108U001446, 2008-2009 рр.), "Розробка теоретичних основ морфологічного аналізу 3D образу складних виробів при підготовці до матеріалізації інтегрованими ресурсозберігаючими технологіями" (ДР №0110U001238, 2010-2012 рр.) і "Підвищення точності виготовлення виробів селективним лазерним спіканням шляхом компенсації залишкових деформацій на етапі підготовки до матеріалізації" (ДР №0117U004882, 2017-2018 рр.), в котрих здобувач був відповідальним виконавцем; "Дослідження прискореного виготовлення складнопрофільних виробів оборонного призначення на базі адитивних технологій і фінішної алмазно-абразивної обробки" (ДР №0120U001008, 2020-2021 рр.) і "Удосконалення процесів адитивних технологій прискореного виготовлення складнопрофільних виробів на базі лазерної стереолітографії і фінішної вібраційно-абразивної обробки" (ДР №0122U001435, 2022-2023 рр.), в котрих здобувач був автором окремих підрозділів

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій,**

### **сформульованих в дисертаційній роботі.**

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Гаращенко Я. М. є високою й базується на аналізі науково-технічних джерел за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, зіставленні і критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників. Дослідження технологічних процесів адитивних методів пошарової побудови виконано з використанням сучасних методів заснованих на наукових положеннях технології машинобудування, формоутворення поверхонь, комп'ютерної математики, геометричного моделювання, фрактальної геометрії, прикладної статистики та аналізу даних. Результати, висновки та рекомендації підтверджено експериментами у виробничих умовах.

### **Достовірність результатів досліджень.**

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок задач, що вирішуються у роботі, застосуванням сучасної методології аналізу вихідної 3D-моделі для оцінювання її складності та відпрацювання на технологічність конструкції виробу, який одержують пошаровим формоутворенням, а також використанням статистичного аналізу геометричних даних вихідних 3D-моделей та параметрів пошарового формоутворення для визначення шляхів підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення деталей адитивними методами під час розв'язання оптимізаційних задач їх планування. Наукові результати здобувача успішно використані в процесі розроблення практичних рекомендацій щодо виконання технологічної підготовки до виготовлення конкретних виробів та впроваджено у виробничих умовах НТУ «ХП», ТОВ «НВЦ Європейські технології машинобудування» і ТОВ «Геополімер». Результати досліджень використовуються у навчальному процесі кафедри "Інтегровані технології машинобудування" НТУ "ХП" при підготовці фахівців з навчальної спеціальності «Прикладна механіка» та ПЗВО Харківський Технологічний Університет «Шаг» з навчальної спеціальності «Інформаційні системи та технології».

**До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:**

- уперше створено основи для оцінки технологічності конструкції виробів шляхом аналізу тріангуляційної, воксельної та пошарової 3D-моделі за наступними складовими складності виробу: геометричної, структури матеріалів, ієрархічної та функціональної, що дозволяє забезпечити науково обґрунтовану оцінку відповідності конструкторських вимог до вибраної стратегії виготовлення;

- уперше розроблено математичну модель статистичного аналізу розподілу фрактальної розмірності контурів областей пошарового формоутворення, що дозволяє науково-обґрунтовано визначати геометричну складність контурів і виконувати оцінку можливості їх одержання пошаровим формоутворенням;

- уперше сформульовано принципи ефективного використання робочого простору установок на основі статистичного аналізу просторового розподілу елементарних об'ємів окремих виробів та їх композицій з використанням їхніх воксельних 3D-моделей для оцінювання спільного вирішення таких трьох задач технологічної підготовки як: структурна оборотна декомпозиція, орієнтація та розміщення у робочому просторі пошарового формоутворення;

- дістали подальшого розвитку аналітичні підходи до візуалізації процесів аналізу технологічності конструкції виробу. Розроблена математична модель колірної візуалізації площі граней 3D-моделі складного виробу на основі відображення на тріангуляційну модель сфери за напрямком векторів нормалей у сферичній системі координат істотно підвищує рівень наочності при оцінці придатності конструкції до раціональної орієнтації виробу у робочому просторі пошарового формоутворення;

- удосконалено математичну модель адаптивного розсічення (формування пошарової моделі), яка заснована на статистичному аналізі розподілу кутів між вектором напрямку побудови і нормаллями поверхонь з урахуванням відносної площі полігонів, які потрапили у шар побудови, що дозволяє обґрунтовано зменшити кількість шарів, а відповідно технологічний час виготовлення виробів при забезпеченні заданої точності формоутворення.

### **Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.**

Розроблений здобувачем системний підхід до технологічної підготовки процесів виготовлення складних виробів адитивними методами, що базується на оцінці технологічності конструкції виробів шляхом аналізу тріангуляційної, воксельної та пошарової 3D-моделі, статичному аналізі розподілу фрактальної розмірності контурів областей пошарового формоутворення, сформульованих автором принципах ефективного використання робочого простору установок та статистичного аналізу просторового розподілу елементарних об'ємів окремих виробів та їх композицій стали теоретичною основою для проведення технологічної підготовки процесу виготовлення виробів в умовах виробничих ділянок НТУ «ХП», ТОВ «НВЦ Європейські технології машинобудування» і ТОВ «Геополімер».

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 53 наукових працях, у тому числі 28 статей (з них 15 – у наукових фахових виданнях України, 8 – у виданнях, включених до наукометричної бази Scopus; 5 – у зарубіжних періодичних спеціалізованих виданнях); 6 патентів України на корисну модель; 1 – монографія; 14 – у матеріалах конференцій. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота Гаращенка Ярослава Миколайовича складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, 7 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано її зв'язок з науковими програмами, планами, темами, що здійснювалися в організації де виконувалася та захищається дисертаційна робота. Лаконічно і зрозуміло подано визначення мети роботи, що полягає у створенні основ і системи технологічної підготовки процесів виготовлення складних виробів при матеріалізації 3D-моделей шляхом їх пошарового формоутворення. Чітко поставлено задачі, які потрібно було

вирішити в роботі для досягнення задекларованої мети, а саме, розробити методологію оцінювання складності та відпрацювання технологічності конструкції виробу, опрацювати підходи статистичного аналізу геометричних даних вихідних 3D-моделей та параметрів пошарового формоутворення, удосконалити методи щодо розв'язання основних оптимізаційних задач технологічної підготовки адитивного виробництва, створити системи технологічної підготовки процесів виготовлення виробів складної форми і, на завершення, здійснити впровадження розробленої системи технологічної підготовки адитивного виробництва складних виробів та розробити практичні рекомендації щодо її використання.

Виходячи з поставленої мети та задач роботи цілком закономірно вибрано об'єкт та предмет досліджень - технологічні процеси виготовлення деталей машин адитивними методами пошарової побудови та технологічна підготовка процесів виготовлення складних виробів шляхом матеріалізації 3D-моделей адитивними методами пошарової побудови на базі об'єктно-орієнтованої методології статистичного аналізу геометричних даних, відповідно, а також сучасні методи досліджень зазначених процесів.

Методологія досліджень в системі технологічної підготовки процесів виготовлення складних виробів адитивними методами У першому розділі виконано критичний аналіз науково-технічної інформації щодо світової тенденції розвитку адитивних технологій та зацікавленості найбільш розвинених індустріально розвинутих країн серед яких США, Японія, Південна Корея, Німеччина до цього процесу. Особливо вдало це продемонстровано на рис. 1.4 та 1.2, на яких наводяться дані щодо того як з роками активно збільшувалась кількість публікацій за напрямком та об'єми продажу устаткування для реалізації даного процесу.

В роботі ретельно зроблено огляд в яких сферах діяльності людини наразі частіше за все знаходять застосування адитивні технології. Показано, що найбільше поширення такі технології використовуються в машинобудуванні. Якщо взяти сумарно такі напрямки як автомобілебудування, авіабудування і космічна галузь, виготовлення військової техніки та приладів для оброблення матеріалів, то це складає близько 41%. Досить активно дані технології застосовуються при

виробництві споживчих товарів і електроніки, майже 21%, та все зростаючими темпами для проблем медицини (наразі це 15%).

Розглянуті за підсумками літературного огляду напрямки вдосконалення технологічної підготовки виробництва та аналіз конструкційних вимог до виробів, що виготовляються за допомогою адитивних методів дозволили обґрунтувати необхідність розроблення методології аналізу вихідної 3D-моделі для оцінювання її складності та відпрацювання на технологічність конструкції виробу, який одержують пошаровим формоутворенням. Особлива увага в роботі приділена розгляду питання щодо особливості форматів опису поверхонь виробів, які використовуються в адитивному виробництві. Визначено шляхи підвищення ефективності технологічної підготовки з урахуванням особливостей адитивних технологій. Сформульовано мету і задачі дослідження, визначено напрямки наукового пошуку.

Другий розділ присвячений обґрунтуванню та опису використаних методів досліджень, загальних умов, обладнання та матеріалів, використані в експериментах. Дано опис методик та програмного забезпечення для аналізу тріангуляційних 3D-моделей промислових виробів. Зокрема при описанні методології досліджень стосовно технологічної підготовки процесів виготовлення складних виробів адитивними методами зазначено що вона має включати підходи прикладної статистики для аналізу технологічних параметрів та характеристик тріангуляційних 3D-моделей виробів. Зазначено, що у дослідженнях використовувалися наступні CAD-системи: PowerShape (Delcam, на цей час Autodesk), Solidworks (SolidWorks Corporation) і Magics (Materialise Software).

В якості технологічного обладнання в роботі використано принтер Ultimaker 3 Extended, який дозволяє реалізувати FDM-метод пошарової побудови виробів з використанням термопластику. Таке обладнання використовувалося на етапі перевірки технологічного процесу з використанням модельного зразка. На завершальному етапі перевірки правильності побудови технологічного процесу та при виготовленні дослідних зразків виробів, у тому числі і складної форми, використовувалася установка Vanguard Si2 SLS, яка дозволяє виконувати

технологічний процес шляхом лазерного спікання порошків та система сканування на базі оптико-цифрової установки Imetric Iscan, яка дозволяє здійснювати контроль геометрії готових виробів.

Третій розділ спрямований на обґрунтування розроблених методик оцінки технологічності конструкції виробів, одержуваних з використанням адитивних методів. В даному розділі розглядаються та вирішуються питання стосовно визначення складності виготовлення виробу. Запропоновано набір показників, які визначають складність виробу та враховують геометрію виробу, структурур матеріалів, ієрархічної та функціональної. Застосування цих показників науково обґрунтовано здійснювати вибір стратегії виготовлення виробу на етапі технологічної підготовки.

Важливим є те, що оцінка геометричної складності промислових виробів виконується на основі виконаних автором досліджень щодо встановлення залежностей стосовно кількості граней 3D-моделі від допустимої похибки триангуляції, від максимально допустимого розміру ребра та від допустимого двогранного кута між суміжними гранями. Використана при цьому триангуляційна 3D-модель дозволила уніфікути уявлення про поверхню виробу, що створило передумови для аналізу системи трикутних граней. Аналіз 3D-моделі запропоновано представляти як визначення безрозмірних показників, що дозволяє оптимізувати для заданих показників якості та об'єму випуску продукції процес її виготовлення та обладнання для реалізації даного процесу. Запропоновано та обґрунтовано визначати показник технологічності щодо ефективності оборотної структурної декомпозиції виробу на основі статистичного аналізу розподілу елементарних об'ємів виробу.

Четвертий розділ присвячений створенню та обґрунтуванню методології для комплексного вирішення задач технологічної підготовки процесів АМ-виготовлення складних виробів та технологічної підготовки процесів їх виготовлення шляхом пошарового формоутворення. Запропоновано методологію такої підготовки згідно з якою здійснюється загальне вирішення таких задач як структурна декомпозиція виробів та раціональне їх розташування в просторі робочої камери устаткування за

вибраною стратегією, а на підставі результатів спеціальних досліджень сформульовано принципи ефективного використання устаткування. Доведено, що найбільш ефективного використання робочого простору АМ-установок можна досягти за рахунок пошарового розсічення виробу оптимізувавши параметри такого розсічення.

Заслуговує на увагу запропонований автором статистичний аналіз розподілу кутів нахилу від осі  $Z$  нормалей поверхонь, які потрапили у перетин шару з урахуванням їх відносної площі, що дозволяє науково-обґрунтовано визначати крок побудови виробів.

П'ятий розділ спрямований на обґрунтування запропонованої концепції технологічної підготовки виробництва для матеріалізації процесу виготовлення складних виробів з використанням адитивних методів пошарового формоутворення.

На підставі результатів, наведених у цьому розділі досліджень, розроблено систему технологічної підготовки процесів виготовлення складних виробів адитивними методами (на рівні готового програмного продукту), що дозволяє досліджувати статистичні характеристики технологічних ознак процесу їх виготовлення без проведення довготривалих та фінансово і матеріально затратних експериментальних випробувань.

Сформульовано комплекс умов, необхідних для реалістичного виконання задач технологічної підготовки процесів АМ-виготовлення і статистичного аналізу досліджених ознак, якими враховується факт технологічної й еволюційної подібності процесу формування моделі, геометричної подібності 3D-моделі виробу, статистичної подібності з розподілу характеристик пошарової побудови і технологічних параметрів формоутворення, тощо.

На підставі отриманих результатів модельних досліджень виявлено раціональні параметри запропонованого алгоритму розміщення 3D-моделей виробів у робочому просторі за методом Монте-Карло.

Модельні дослідження виробів з різною геометричною складністю поверхонь дозволили розробити рекомендації щодо завдання раціональних параметрів та режимів роботи для ефективного вирішення задачі розміщення виробів у робочому

просторі АМ-установки. Розроблено процедуру підвищення ефективності використання робочого простору АМ-установки застосування якої дозволяє зменшити висоту побудови та кількість шарів побудови, одночасно збільшивши відносну кількість заповнених підпросторів робочої камери устаткування.

Шостий розділ присвячений розгляду питань, що стосуються технологічної підготовки процесів виготовлення складних виробів адитивними методами пошарової побудови та наведенню прикладів реалізації процесів при виготовленні деталей і вузлів характерних для машинобудування виробів.

У цьому розділі представлено результати експериментальних досліджень і вирішення комплексу задач в системі технологічної підготовки процесів виготовлення складних виробів адитивними методами. Розроблено практичні рекомендації щодо реалізації розроблених підходів до вирішення оптимізаційних задач: структурної оборотної декомпозиції, раціональної орієнтації і розміщення в робочому просторі АМ-установки з вибором стратегії пошарового розсічення. Запропоновано практичні підходи щодо підвищення точності пошарової побудови та ефективності використання робочого простору АМ-установки при виготовленні промислових виробів.

Зроблений автором порівняльний аналіз за кількістю шарів розсічення для конкретних 3D-моделей доводить перевагу стратегії побудови виробу зі змінним кроком у порівнянні з постійним кроком та свідчить про те, що існує можливість додаткового зменшення кількості шарів побудови для всіх розглянутих 3D-моделей шляхом усічення щільності розподілу кутів  $\phi$  NZ.

У прикінцевому викладенні матеріалу дисертації положеннях наведені приклади успішного використання розроблених практичних рекомендацій щодо виконання технологічної підготовки до виготовлення різноманітних виробів з використанням SLS-методу, які, зокрема, були реалізовані у виробничих умовах НТУ «ХП», ТОВ «НВЦ Європейські технології машинобудування» і ТОВ «Геополімер».

Важливим є і те, що отримані та наведені в роботі результати наукових досліджень використовуються в навчальному процесі кафедри "Інтегровані

технології машинобудування" НТУ "ХПІ" при підготовці фахівців з навчальної спеціальності «Прикладна механіка».

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації і складається з 360 найменувань.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

### **По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:**

1. При в цілому прекрасному огляді інформації, що стосується використання АМ-технологій при вирощуванні виробів складної форми методом пошарової їх побудови, автор інколи робить просте посилання на роботу без будь-якого аналізу викладеного в ній матеріалу. У зв'язку з цим інколи важко зрозуміти, що зроблено до автора іншими науковцями, а що залишилося без уваги і потребує додаткових досліджень. Відповідь на ці питання є в наступних розділах роботи в яких чи не кожний розділ та підрозділ починається з наведення публікацій по темі, їх аналізу та постановки задач досліджень. На мій погляд, це було б доцільно зробити у першому розділі, а в подальшому посилатися на це матеріал.

2. Часте посилання на роботи інших авторів в розділах, де мають наводитися результати власних досліджень, робить складним для визначення, який матеріал запозичено, а який є результатом власних досліджень. Доцільно було б у такому випадку робити більш чіткий акцент на тому, що зроблено ,автором.

3. У другому розділі під час опису SLS-методу пошарового формування виробу з використанням для спікання порошків лазерного процесу, було б доцільним навести не лише зображення устаткування і його камери з порошком, а й схему виконання самого процесу.

4. В Розділі 3 на стор. 88 зазначається а в табл. 3.1 наводяться певні величини коефіцієнти  $a$ ,  $b$  та  $c$ , які визначають геометричну складність виробу. В той же час незрозуміло збільшення чи зменшення цих коефіцієнтів означає те, виріб має

найбільшу складність. Якби після таблиці було б зроблено детальний аналіз, наведеної в ній інформації, то розібратися з цим питанням було б набагато простіше. Аналогічна проблема існує й стосовно деяких інших таблиць та рисунків, які також не мають аналітичного опису представлених матеріалів.

5. В тексті на стор. 98 мова йде про формули, які запозичені з робіт №№ 220, 235 та 236. Про які саме формули йде мова незрозуміло оскільки в роботі вони не наводяться.

6. В тексті Розділу 3 є посилання на табл. 3.5, а от самої таблиці в роботі немає. Це саме стосується і рис. 4.11, який мав би бути наведений у Розділі 4.

7. В роботі цілком закономірно робиться акцент на тому, що для сформованих шарів виробу притаманна хімічна та механічна неоднорідність матеріалу. Відомо, що ступінь такої неоднорідності багато в чому залежить від потужності використаної енергії. Надалі це питання в роботі не розглядається. Можливо це й вірно оскільки його вирішення це самостійне питання і, скоріше за все, має розглядатися в роботах учнів Ярослава Миколайовича. Але згадати про те що режими лазерного процесу можуть вносити певні корективи в процеси формоутворення, на мій погляд варто.

8. В шостому розділі на рис. 6.59 наводяться приклади виробів, які виготовлені у відповідності до рекомендацій, що розроблені за результатами наведених у роботі наукових досліджень. Це добре. Але було б ще краще, якби автор вказав на те, що за вироби представлені на рисунку та з якого матеріалу вони виготовлені.

9. Робота написана прекрасною технічною мовою, але в ній інколи зустрічаються русизми. Наприклад на стор. 43 тексту дисертації «...взаємозв'язок часу побудови от кількості шарів буде різним...» в той час як має бути «...взаємозв'язок часу побудови від кількості шарів буде різним...». На стор. 93 є скорочення т.к. (так как), має бути так як. На стор. 111 мається если  $L_{\min} \leq L_{W\min}$  и  $L_{\text{mean}} \leq L_{W\text{mean}}$ , має бути якщо  $L_{\min} \leq L_{W\min}$  то  $L_{\text{mean}} \leq L_{W\text{mean}}$ .

## Висновок

Дисертаційна робота Гаращенко Ярослава Миколайовича «Основи технологічної підготовки процесів виготовлення складних виробів при матеріалізації процесів 3D-моделей адитивними методами», за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу наукову проблему, суть якої полягає у створенні основ і системи технологічної підготовки процесів виготовлення складних виробів при матеріалізації 3D-моделей шляхом їх пошарового формоутворення. Дисертація «Основи технологічної підготовки процесів виготовлення складних виробів при матеріалізації процесів 3D-моделей адитивними методами» Гаращенко Я.М. виконана із дотриманням принципів академічної доброчесності. Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а здобувач Гаращенко Ярослав Миколайович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування.

Опонент

заступник директора з науково-технічної

роботи Інституту електрозварювання

ім.Є.О. Патона НАН України

доктор технічних наук, старший

науковий співробітник

02.09.24



Валерій ПОЗНЯКОВ