

До спеціалізованої вченої ради
Д 35.052.06 при Національному
університеті «Львівська політехніка»
079013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Ковтуна Ігоря Івановича
«Розроблення науково-прикладних засад динаміки та міцності несівних систем
електронної апаратури»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин

1 Загальна характеристика роботи

Дисертаційна робота виконувалася у Хмельницькому національному університеті (ХНУ) Міністерства освіти і науки України.

Робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 427 сторінок. Дисертація містить 169 ілюстрацій, 28 таблиць, список використаних джерел із 228 найменувань, 11 додатків.

До розгляду подано дисертацію, реферат дисертації, копії опублікованих праць, автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата наук.

2 Оцінка актуальності теми дисертації

У дисертації наведено комплексне вирішення актуальної проблеми розвитку науково-прикладних засад динаміки та міцності несівних систем електронної апаратури, що дає можливість зменшити напруження і деформації та забезпечити міцність і необхідну жорсткість елементів конструкцій зазначених систем за рахунок раціонального добору їх фізико-механічних параметрів на стадіях проєктування, виробництва і експлуатації. Розвиток розрахункових та експериментальних методів оцінки конструкційної міцності несівних систем електронної апаратури, встановленої на енергетичних, технологічних, транспортних та інших машинах, приладах і апаратах, дає можливість зменшити напруження і деформації та забезпечити міцність і необхідну жорсткість елементів конструкцій зазначених систем за рахунок раціонального добору їх фізико-механічних параметрів на стадіях проєктування, виробництва і експлуатації.

Проблема дослідження динаміки та міцності електронної апаратури стає особливо актуальною в умовах сучасних тенденцій до збільшення рівня інтеграції складних електронних вузлів, виконаних у якомога менших розмірах та вагових показниках, що не могло не призвести до погіршення характеристик міцності та жорсткості створюваних конструкцій, призначених як для забезпечення електричних контактів, так і для механічної підтримки та захисту чутливих до зовнішніх впливів електронних компонентів.

Захист від вібрацій електронного обладнання, яке працює в складних умовах динамічних навантажень, нерідко здійснюється шляхом застосування пружних кріплень. Традиційно раціональна конструкція віброізоляції базується на компромісних властивостях амортизації та жорсткості кріплень і спрямована, загалом, на розширення частотного діапазону, в якому відбувається згасання механічних коливань. Тим не менше, надійність електронних приладів залежить не тільки від рівня вібрацій, які сприймає корпус електронної апаратури, а й від динамічних сил взаємодії електронних компонентів, які здебільшого є надзвичайно чутливими до навантажень у широкому діапазоні частот. Традиційний підхід до проектування несівних систем електронної апаратури не враховує детальних характеристик пружності, міцності та надійності таких компонентів.

На відміну від традиційного підходу, в роботі розвинуто теорію вібраційного захисту відповідальних елементів функціональних вузлів електронної апаратури на основі застосування як дискретних, так і континуально-дискретних розрахункових моделей, а також комплексного підходу до теоретичного і експериментального дослідження вільних і кінематично-збуджуваних коливань системи. Визначено напружено-деформований стан елементів конструкцій і запропоновано інженерні методи оцінки напружень та конструктивні і технологічні методи забезпечення міцності електронної апаратури в умовах дії технологічних та експлуатаційних навантажень.

Дисертаційна робота є складовою частиною проектів, які виконувались в межах 10-ти держбюджетних науково-дослідних робіт Хмельницького національного університету: «Розробка акусто-емісійного комплексу та його застосування для неруйнівного контролю, діагностики та прогнозування міцності нових матеріалів та деталей нафтогазового обладнання» (1997-1999 рр., номер держреєстрації 0197U016018), автор – виконавець; «Розробка комплексу лінійної, площинної об'ємної локації сигналів акустичної емісії та його застосування для неруйнівного контролю, діагностики та прогнозування міцності матеріалів, деталей та електронних систем нафтогазового обладнання» (2000-2002 рр., номер держреєстрації 0100U001979), автор – виконавець; «Розробка новітніх технологій, що забезпечують підвищення міцнісної надійності машин та їх електронного обладнання» (2004-2005 рр., номер держреєстрації 0104U002103), автор – виконавець; «Забезпечення міцності і герметичності модулів, герметизованих компаундом, при термоударах» (2011-2012 рр., номер держреєстрації 0111U002304), автор – виконавець; «Дослідження електрокерованих нанорозмірних компаундів і можливості їх застосування в безрезонансних кріпильних пристроях для тестування виробів електронної техніки на вібро- та удароміцність» (2011-2012 рр., номер держреєстрації 0111U006775), автор – виконавець; «Множинні зворотні задачі механіки структурно-складних технічних систем» (2013-2015 рр., номер держреєстрації 0113U002064), автор – виконавець; «Розвиток наукових та інженерних основ надійності електронної техніки шляхом удосконалення технології її тестування на вібрації та удари» (2015-2016 рр., номер

держреєстрації 0115U000225), автор – виконавець; «Розробка наукових основ захисту виробів радіоелектроніки, закріплених на об'єднувальних платах, від деформацій плат, а плат від динамічних і теплових навантажень» (2017-2019 рр., номер держреєстрації 0117U001168), автор – відповідальний виконавець; госпдоговірної теми «Розробка методів контролю, діагностики та прогнозування міцності та герметичності корпусів інтегральних модулів надвисоких частот в умовах перепадів тиску та температури» (2019 р., номер держреєстрації 0119U101419), автор – відповідальний виконавець; «Наукові основи перетворення критичних обертів в некритичні, резонансних частот в нерезонансні і критичних сил по Ейлеру в некритичні в виробах військової і невійськової техніки» (2020-2022 рр., номер держреєстрації 0120U102067), автор – виконавець; «Неруйнівний контроль, діагностування та прогнозування технічного стану електронних систем методом акустичної емісії в виробах військової і невійськової техніки» (2020-2021 рр., номер держреєстрації 0120U102069), автор – відповідальний виконавець.

3 Оцінка наукових результатів дисертації

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розвитку науково-прикладних засад динаміки та міцності несівних систем електронної апаратури у вигляді друкованих плат з електронними компонентами, що дає можливість впливати на динамічні процеси в зазначених механічних системах, істотно зменшуючи напруження та деформації, забезпечуючи міцність і надійність елементів конструкцій.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у тому, що у ній *вперше*:

- запропоновано комплексне математичне моделювання динамічних процесів у механічній системі друкованої плати із застосуванням низки дискретних та континуально-дискретних розрахункових моделей, теоретично обґрунтовано розрахункову модель плати у вигляді багатопрогонової балки із зосередженими та розподіленими масами, шарнірно-закріпленої на кінцях, що дає можливість значно спростити динамічний аналіз механічної системи;
- теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість виникнення резонансних коливань у відповідальних вузлах електронної апаратури, які виникають під час експлуатації. Показано, що усунення цих небезпечних явищ може бути здійснено лише на основі детального аналізу динамічних процесів у механічній системі;
- встановлено закономірності впливу фізико-механічних параметрів несівних конструкцій електронної апаратури на різних рівнях конструктивної складності на динамічні процеси, які виникають під час експлуатації блоків електронної апаратури, та на максимальні напруження і деформації елементів цих конструкцій. Встановлені закономірності дозволяють здійснювати раціональний добір параметрів елементів конструкцій для забезпечення їх міцності і необхідної жорсткості;
- теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено ефективність застосування конструктивного сухого тертя на відміну від в'язкого внутрішнього тертя в матеріалах конструкцій та обґрунтовано раціональний

добір пружно-дисипативних характеристик демпферу сухого тертя щодо зменшення напружено-деформованого стану відповідальних вузлів електронної апаратури в умовах резонансного збудження;

– на основі математичного моделювання напружено-деформованого стану конструкції друкованої плати під час її випробувань в умовах статичного навантаження та в елементах конструкції із загальною герметизацією в умовах дії температурних навантажень теоретично обґрунтовано конструктивні та технологічні методи підвищення стійкості елементів конструкцій до технологічних і експлуатаційних навантажень за рахунок раціонального добору пружно-дисипативних параметрів;

– запропоновано методику технічної діагностики критичних елементів конструкцій електронної апаратури, зокрема їх паяних та зварних з'єднань, із застосуванням методу акустичної емісії та відбором інформативних параметрів, рівень яких свідчить про достатню міцність та придатність об'єкту дослідження до експлуатації.

Крім цього, набули подальшого розвитку:

– теорія вібраційного захисту електронної апаратури за рахунок застосування комплексного підходу до математичного моделювання вільних і кінематично-збуджуваних коливань друкованих плат;

– акустико-емісійна методика неруйнівної діагностики міцності нероз'ємних елементів конструкцій електронної апаратури, зокрема їх паяних та зварних з'єднань, відмінність якої від існуючих полягає у відборі таких інформативних параметрів як амплітуда та сумарний рахунок сигналів акустичної емісії, обмеження яких щодо порогового рівня в умовах циклічного навантаження свідчить про придатність об'єкту дослідження до експлуатації.

4 Оцінка практичного значення результатів роботи

Практичне значення роботи полягає у тому, що на підставі проведених теоретичних і експериментальних досліджень вирішена важлива науково-прикладна проблема – забезпечення конструкційної міцності електронної апаратури при статичних, циклічних і динамічних навантаженнях.

Отримані автором результати із розроблення моделей та методів динаміки та міцності несівних систем електронної апаратури можуть бути використані на стадіях проєктування, виробництва й експлуатації широкого класу несівних конструкцій електронної апаратури, яка установлена на енергетичних, технологічних, транспортних та інших машинах, і піддається механічному, температурному та пневматичному впливу в жорстких умовах експлуатації.

У роботі розроблено низку прикладних рекомендацій, спрямованих на зменшення напружень і деформацій та на забезпечення міцності критичних елементів функціональних вузлів електронної апаратури: інженерні розрахункові методи оцінки динаміки та міцності, конструктивні і технологічні методи забезпечення міцності та методи ідентифікації фізико-механічних характеристик матеріалів деталей і вузлів електронної апаратури з урахуванням

механічних, температурних та пневматичних впливів, які виникають на етапі виробництва і в процесі експлуатації.

Запропоновані технічні рішення впроваджено у вигляді: застосування демпфера сухого тертя для зменшення динамічного напружено-деформованого стану друкованих плат (акт від 12.12.2022); методу розрахунку та вимірювання напружень і деформацій та технологічних методів захисту електронних компонентів у герметизованих компаундом електронних модулях під дією термоударів (акт від 11.12.12) та конструктивних методів забезпечення міцності деталей та вузлів електронної апаратури в умовах дії динамічних навантажень (акт від 27.12.2016) на Державному підприємстві «Новатор», м. Хмельницький; застосування інженерних методів оцінки та забезпечення міцності друкованих плат в умовах вібраційних навантажень (акт від 20.12.2016) в науково-дослідному інституті радіолокаційних систем «Квант-радіолокація», м. Київ; застосування методики акустико-емісійної неруйнівної технічної діагностики та методу електротензометрії посудин, що працюють під тиском (акт від 21.12.2001) в Подільському експертно-технічному центрі Держнаглядохоронпраці, м. Хмельницький; застосування методу акустико-емісійного неруйнівного діагностування міцності і герметичності модулів та компонентів бортового радіоелектронного обладнання (корпусів модулів НВЧ, керамічних конденсаторів) під дією надмірного тиску і температури в статичному та циклічному режимі навантажень (акти від 06.09.2019 та від 08.12.2022) в ТзОВ «Альп-монтаж», м. Хмельницький.

Отримані результати роботи, методики і моделі використовуються в навчальному процесі Хмельницького національного університету при викладанні таких дисциплін, як «Конструювання та технологія виробництва електронної апаратури», «Електротехнічні матеріали», «Математичне моделювання систем і процесів» та під час виконання здобувачами вищої освіти кваліфікаційних робіт.

5 Оцінка достовірності та обґрунтованості основних положень і висновків дисертації, ідентичність змісту реферату й основних положень дисертації

Достовірність та обґрунтованість наукових результатів забезпечені використанням фундаментальних законів механіки, математики та математичної фізики.

Дослідження вільних і кінематично збуджуваних вимушених коливань друкованої плати проведено із застосуванням методів динаміки дискретних і континуально-дискретних пружних систем. Розроблення методів аналітичної оцінки напружено-деформованого стану і динамічних процесів у платах виконано із застосуванням методів теоретичної механіки, опору матеріалів, будівельної механіки, теорії пружності та теорії механічних коливань. Розроблення методу ідентифікації фізико-механічних характеристик матеріалів елементів конструкцій електронної апаратури здійснено шляхом розв'язання обернених задач міцності в умовах, наближених до експлуатаційних. Перевіркові розрахунки, симуляція та імітація напружено-деформованого стану

і динамічних процесів друкованих плат виконані за допомогою методу скінченних елементів в системі автоматизованого проектування Solidworks із застосуванням системи аналізу конструкцій Solidworks Simulation, методів числового аналізу в системах автоматизації математичних розрахунків MathCad та Matlab із застосуванням модуля візуального програмування Simscape Multibody.

Експериментальне дослідження напружено-деформованого стану елементів конструкцій електронної апаратури виконано з урахуванням особливостей дослідження малогабаритних елементів конструкцій, для чого були модифіковані і адаптовані методи експериментального дослідження, такі як: метод електротензометрії; метод акустичної емісії, метод віброметрії: метод високошвидкісної відеозйомки. Випробування об'єктів дослідження здійснювалось в статичному, циклічному та динамічному режимах під дією механічного, температурного та пневматичного навантажень.

Використані в дисертації основні теоретичні положення, припущення, спрощення є коректними і не містять протиріч.

Усі наявні в дисертації аналітичні залежності одержані шляхом логічних математичних перетворень. Обґрунтованість встановлених закономірностей підтверджувалась експериментальним шляхом.

Висновки і рекомендації, які наведені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими, їх достовірність підтверджена експериментально.

Реферат за своїм змістом, основними положеннями та висновками ідентичний з дисертацією і відображає її структуру.

Наукові положення дисертації, що складають наукову новизну і виносяться на захист, не повторюють цих положень у дисертації кандидата технічних наук здобувача.

Робота має апробацію на 26-ти міжнародних науково-технічних конференціях.

Нові наукові результати та положення повністю відображені у 55 наукових працях, у тому числі: 2 монографії; 1 розділ монографії, що опубліковано у закордонному виданні; 13 публікацій включених до Переліку наукових фахових видань України; 3 статті у наукових періодичних виданнях інших держав; 6 публікацій у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science та Scopus; 1 патент України на корисну модель; 11 матеріалів доповідей на міжнародних конференціях у виданнях, що реферуються науково-метричними базами даних Web of Science, Scopus; 12 праць апробаційного характеру; 6 праць, які додатково відображають наукові результати докторської дисертації.

Кількість публікацій, їх повнота та обсяг у достатній мірі відображають особистий внесок автора і відповідають вимогам, які висуваються до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

6 Оцінка змісту й оформлення дисертації

У дисертації подано комплексне вирішення актуальної проблеми – розвитку розрахункових та експериментальних методів оцінки конструкційної

міцності електронної апаратури, встановленої на енергетичних, технологічних, транспортних та інших машинах, приладах і апаратах. Розроблення науково-прикладних засад динаміки та міцності несівних систем електронної апаратури дозволяє зменшити напруження і деформації та забезпечити міцність та потрібну жорсткість елементів конструкцій зазначених систем за рахунок раціонального добору їх фізико-механічних параметрів на стадіях проектування, виробництва і експлуатації.

У дисертації послідовно розглянуто окремі складові проблеми та розроблено засоби для їх вирішення.

Перший розділ присвячено постановці проблеми і завдань дослідження на основі аналізу сучасного стану динаміки та міцності деталей, вузлів, блоків та систем електронної апаратури з урахуванням технологічних і експлуатаційних навантажень.

Другий розділ присвячено розвитку теорії вібраційного захисту електронної апаратури на основі комплексного підходу до математичного моделювання динамічних процесів у несівних конструкціях та напружено-деформованого стану їхніх елементів, для чого:

- запропоновано комплексне математичне моделювання динамічних процесів у механічній системі друкованої плати із застосуванням низки дискретних та континуально-дискретних розрахункових моделей друкованої плати, теоретично обґрунтовано розрахункову модель друкованої плати у вигляді багатопрогонової балки із зосередженими та розподіленими масами, шарнірно-закріпленої на кінцях, що дає можливість значно спростити динамічний аналіз механічної системи;
- теоретично обґрунтовано можливість виникнення резонансних коливань у відповідальних вузлах електронної апаратури під час її експлуатації. Показано, що усунення цих небезпечних явищ може бути здійснено лише на основі детального аналізу динамічних процесів у механічній системі;
- встановлено закономірності впливу фізико-механічних параметрів несівних конструкцій електронної апаратури на різних рівнях конструктивної складності на динамічні процеси, які виникають під час експлуатації блоків електронної апаратури, та на максимальні напруження і деформації елементів цих конструкцій. Встановлені закономірності дозволяють здійснювати раціональний добір інерційних та пружно-дисипативних параметрів елементів конструкцій для забезпечення їх міцності і необхідної жорсткості;
- теоретично обґрунтовано ефективність застосування конструктивного сухого тертя на відміну від в'язкого внутрішнього тертя в матеріалах конструкцій та обґрунтовано раціональний добір пружно-дисипативних параметрів демпферу сухого тертя щодо зменшення напружено-деформованого стану відповідальних вузлів електронної апаратури в умовах резонансного збудження;
- на основі математичного моделювання напружено-деформованого стану конструкції друкованої плати під час її випробувань в умовах статичного навантаження та в елементах конструкції із загальною герметизацією в умовах дії температурних навантажень теоретично обґрунтовано конструктивні та технологічні методи підвищення стійкості елементів конструкцій до

технологічних і експлуатаційних навантажень за рахунок раціонального добору їхніх пружно-дисипативних параметрів.

Третій розділ присвячено модифікації та адаптації таких методів експериментального дослідження, як метод електротензометрії, акустичної емісії, віброметрії та високошвидкісної відеозйомки, та створенню вимірювально-випробувального комплексу, призначеного для визначення деформацій малогабаритних елементів конструкцій електронної апаратури під дією статичних, циклічних та динамічних механічних, температурних та пневматичних навантажень, які відтворюють жорсткі умови, наближені до експлуатаційних.

У *четвертому* розділі здійснено експериментальну перевірку основних результатів теоретичних досліджень та обґрунтовано методи зменшення напружень і деформацій, а також забезпечення міцності відповідальних елементів конструкцій електронної апаратури в умовах дії технологічних та експлуатаційних навантажень.

Експериментально підтверджено: збільшення коефіцієнту передачі вібрацій до друкованих плат із зменшенням жорсткості елементів несівних конструкцій, це підтверджує висновок про те, що конструкційне демпфування, обумовлене дією сили сухого тертя під час взаємного зміщення поверхонь контакту, перевершує демпфування, зумовлене силами внутрішнього в'язкого тертя в матеріалі деталей; ефективність застосування демпферу сухого тертя щодо зменшення максимальних динамічних напружень і прогинів, яка сягає 20,5 % та 25,9 % відповідно; ефективність технології високого наскрізного монтажу електронних компонентів, яка забезпечує майже трикратне зменшення коефіцієнта передачі деформацій від основи друкованої плати до електронних компонентів; більш ніж двократне зменшення передачі деформацій від основи друкованих плат до електронних компонентів завдяки загальній герметизації компаундом, проте герметизація створює додаткові напруження в умовах перепадів температур, які досягають максимальних значень при усталеному перепаді температур; наявність пластичних деформацій, або актів руйнування та розвитку дефектів паяних та зварних з'єднань в умовах циклічного навантаження за відсутності ефекту Кайзера (прояву сигналів акустичної емісії при повторному навантаженні).

У *п'ятому* розділі розроблено низку прикладних рекомендацій, спрямованих на зменшення напружень і деформацій та на забезпечення міцності несівних конструкцій електронної апаратури, до яких відносяться інженерні розрахункові методи оцінки динаміки та міцності несівних систем електронної апаратури, конструктивні та технологічні методи забезпечення міцності деталей та вузлів електронної апаратури та методи ідентифікації фізико-механічних характеристик матеріалів конструкцій електронної апаратури з урахуванням дії технологічних та експлуатаційних навантажень. Отримані результати мають суттєве значення для електронної промисловості.

Наведені в дисертаційній роботі *висновки* і рекомендації є достатніми і належним чином обґрунтованими.

Отже, на основі розгляду матеріалів дисертації можна зробити позитивний висновок про повноту розробки поставленої науково-прикладної проблеми.

Дисертація оформлена у відповідності до вимог до оформлення дисертації, затвердженими наказом МОН України від 12.01.2017 № 40, добре ілюстрована, стиль та послідовність викладення матеріалу відповідають вимогам до написання наукових робіт.

7 Зауваження до дисертаційної роботи

7.1. Важливим результатом дисертації є обґрунтування балкової розрахункової моделі плати з електронними компонентами. На основі цього підходу автором побудовано достатньо ефективні дискретні і континуально-дискретні математичні моделі вільних і вимушених коливань механічної системи. Однак, у цих моделях не враховано початкові зміщення центрів ваги електронних компонентів щодо осі балкової моделі плати. Бажано було б оцінити вплив вказаних зміщень на точність визначення резонансних частот і амплітуд кінематично збуджених коливань системи.

7.2. У дисертаційній роботі дослідження динаміки несівних систем електронної апаратури спрямовані на забезпечення їх несівної здатності (міцності, стійкості, опірності утомі). На майбутнє можна порекомендувати авторові поширити отримані результати досліджень на такі види граничних станів як розвиток надмірних деформацій та утворення або розкриття тріщин.

7.3. У третьому розділі дисертації наведено матеріали, які носять лише інформативний характер і не використовуються безпосередньо у розв'язанні поставлених задач чи у прикладних розрахунках. До таких матеріалів відносяться, зокрема, надмірний опис електричних схем обладнання для тензометричного контролю (підрозділ 3.1) та математичні залежності для визначення параметрів сигналів акустичної емісії (формули (3.8) – (3.12)).

7.4. Доцільно було б у завершальному розділі роботи надати повний перелік практичних рекомендацій щодо забезпечення міцності та достатньої жорсткості елементів несівних систем електронної апаратури із зазначенням, на якій із стадій (проектування, виробництва чи експлуатації) дана рекомендація повинна виконуватися.

7.5. На жаль, автору дисертації не вдалося уникнути у її тексті стилістичних похибок і термінологічних описок.

8 Загальна оцінка дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Ковтуна Ігоря Івановича «Розроблення науково-прикладних засад динаміки та міцності несівних систем електронної апаратури» є завершеною науковою працею і має важливе значення для дослідження динаміки та міцності електронної апаратури на сучасному етапі її розвитку. Вирішено актуальну науково-прикладну проблему, яка полягає у розвитку розрахункових та експериментальних методів оцінки конструкційної міцності та стійкості електронної апаратури, установленної на енергетичних, технологічних, транспортних та інших машинах, приладах і апаратах.

Одержані нові розв'язки науково-прикладної проблеми, актуальність, практичне значення, новизна та закінченість досліджень, обґрунтування висновків заслуговують позитивної оцінки.

Зміст дисертаційної роботи, отримані основні наукові положення та висновки відповідають паспорту спеціальності 05.02.09 – динаміка та міцність машин. Реферат відповідає змісту дисертації.

Вказані зауваження щодо представленого дослідження не знижують вагомості отриманих у роботі наукових та практичних результатів і не змінюють її позитивної оцінки.

Робота відповідає вимогам п. п. 7 та 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою № 1197 Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р., а її автор – Ковтун Ігор Іванович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри опору матеріалів
та будівельної механіки
Національного університету «Львівська політехніка»,
доктор технічних наук, професор

Євген Харченко

Підпис д.т.н., професора Євгена Харченка засвідчую.

Учений секретар НУ «Львівська політехніка»



Роман Брилинський