



## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Марчука Володимира Єфремовича**

**«Науково-методологічні основи підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей з текстурованою лунковою структурою в екстремальних умовах експлуатації»**, яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук у Спеціалізовану вчену раду Д 26.062.06 за спеціальністю 05.02.04 - тертя та зношування в машинах

**Актуальність теми та її зв'язок з державними науковими програмами.** Усунення протиріччя між необхідністю постійного оновлення парка техніки спеціального призначення (авіаційні літальні апарати, двигуни, наземна військова техніка і ін.), обмеженням фінансових можливостей і відсутність науково-методологічного апарату дослідження процесу модифікації поверхневого шару деталей торбоз'єднань, які працюють при граничному навантаженні, різних видах зношування за умов одночасної дії високих статичних та динамічних навантажень висуває все більш високі вимоги до надійності конструкційних елементів, фізико-механічних і триботехнічних властивостей поверхонь деталей трибосистем. В наслідок цього близько 80–90 % відмов техніки відбувається в результаті контактної взаємодії під час експлуатації, 30–40% передумов до дострокового знімання виробів з експлуатації зумовлено недостатньою міцністю поверхні деталей та їх низькою зносостійкістю, якому сприяють високі експлуатаційні навантаження.

Названа проблема може бути вирішена шляхом пошуку, розробки і практичного використання інноваційних, ресурсозберігаючих технологій, керування функціональними властивостями деталей трибоз'єднань за рахунок направленою створення зносостійких поверхневих шарів. Цим вимогам відповідають технології дискретного зміцнення поверхневого шару, які дозволяють забезпечити необхідну надійність трибо'єднань в екстремальних умовах експлуатації, де суцільні захисні покриття втрачають свою працездатність.

При використанні таких технологій актуальними завданням стає обґрунтований їх вибір, виходячи з визначення кола функціональних призначень, експериментальної перевірки та технологічної реалізації. Такі завдання мають вирішуватись шляхом аналізу існуючих підходів та формуванням системних уявлень про закономірності і процеси, які відбуваються у поверхневих шарах дискретної поверхні для різних умов

експлуатаційного навантаження, керування властивостями поверхневого шару з метою отримання заданих триботехнічних характеристик та збільшення ресурсу деталей і вузлів тертя.

Тому, тема дисертаційної роботи є безумовно актуальною.

Актуальність теми дисертації та вибраний напрямок досліджень тісно пов'язаний з основними науковими напрямками та проблемами фундаментальних досліджень у галузі технічних наук, затвердженою Постановою Національної академії наук України № 55 від 25.02.2009 р., та створення прогресивних прикладних розробок і технологій відповідно до Концепції розвитку НАН України на 2014–2023 рр. Дослідження виконані в межах наступних науково-дослідних робіт (стор. 9, 10): «Шляхи відновлення важконавантажених деталей авіаційної техніки військового призначення» № 13413/2; «Розробка критеріїв оптимізації поверхневого зміцнення деталей машин та інструменту, конструктивних схем суцільних та дискретних покриттів, методів керування технологічними процесами» № 1.3.4.761 (номер держреєстрації 0107U000627); «Дослідження критеріїв граничного стану матеріалів при циклічному навантаженні з урахуванням впливу поверхні та контактної взаємодії» № 1.3.4.710 (номер держреєстрації РК0106U000710).

**Структура й зміст дисертації.** Дисертація складається з вступу, семи розділів, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації складає 460 сторінок. Дисертація містить 225 ілюстрацій (із них тих, що займають повну сторінку – 67), 47 таблиць (із них тих, що займають повну сторінку – 13). Список використаних джерел із 663 найменувань займає 65 сторінок. Додаток містить 26 сторінок. Обсяг основної частини дисертації становить 289 сторінок.

**У вступі** відображено основні, передбачені нормативними положеннями ДАК МОН України дані, що характеризують роботу, а саме: актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, мета та завдання дослідження, наукова новизна і практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача, апробація та публікації результатів роботи, структура та обсяг дисертації.

**У першому розділі** наведені результати аналітичного огляду літературних джерел за темою дисертаційної роботи, зокрема пов'язаних із дослідженням стану проблеми підвищення зносостійкості деталей і вузлів техніки спеціального призначення, та вибору напрямків досліджень. За результатами цього розділу сформульовано наукову проблему, що

вирішувалась в дисертації, визначено її мету, а також поставлено завдання, які розв'язувались для досягнення цієї мети.

*Як зауваження до розділу слід віднести наступне:*

- аналітичний огляд переважано великою кількістю фактичних даних. Слід було б надати більш стислий аналіз з відповідними посиланнями;
- відсутність аналізу інформації щодо впливу конструктивних параметрів дискретних ділянок на триботехнічні та фізико-механічні властивості металів.

**У другому розділі** описані методологічні основи досліджень текстурованих лункових поверхонь, які базуються на застосуванні системного підходу до вирішення наукової проблеми. Вони передбачають аналіз складових системи, формування стратегій вибору, методики моделювання технологічного процесу, напружено-деформованого стану, течії рідини у дискретних ділянках, а також методики визначення впливу магнітних полів на трибологічні процеси у дискретних ділянках, методи досліджень ТЛП в різних умовах зношування.

*Недоліками розділу є:*

- в роботі, для оцінки зносостійкості зразків не вдало вибрано ваговий метод, оскільки він не враховує пластичне деформування третьових поверхонь.
- відсутність окремого пункту з обґрунтування і аналізу досліджуваних в роботі матеріалів, а також мастильних матеріалів.

**У третьому розділі** описані дослідження залишкових напружень у ТЛП і окремих дискретних ділянках (лунках), встановлено закономірності їх виникнення, обґрунтовано вибір оптимальних конструктивно-технологічних параметрів текстурованої лункової поверхні за умов мінімізації її напружено-деформованого стану та запропоновано шляхи зменшення залишкових напружень. Запропоновано також фізичну модель процесу формування окремої дискретної ділянки, де переважаючими на початковому етапі є залишкові напруження стиску, які при збільшенні пластичної деформації індентором призводять до зміни знаку напружень і формуванню максимальних залишкових напружень розтягу. Побудовано математичну модель залежності технологічних залишкових напружень текстурованих лункових поверхонь від конструктивно-технологічних факторів. За результатами багатопараметричної оптимізації встановлена оптимальна текстура дискретної поверхні, при якій технологічні залишкові напруження розтягу мають найменші значення. Встановлено, що причиною релаксації залишкових напружень розтягу при збільшенні глибини дискретних ділянок (лунок) є розвиток смуг локалізованого зміщення матеріалу по краях

внутрішніх сторін лунки і виникнення в поверхневому шарі лунки сітки втомлених мікротріщин. Встановлено, що зміцнення поверхневого шару методом іонного азотування дозволило усунути залишкові напруження розтягу, а також забезпечити заліковування дефектів на внутрішніх сторонах дискретних ділянок, які виникали в ході технологічного процесу їх формування за рахунок збільшення концентрації зв'язаного азоту і його проникнення на більшу глибину у дискретні ділянки.

*Недоліком розділу є:*

- відсутність аналізу зародження і розвитку втомних тріщин на внутрішніх сторонах дискретної ділянки в залежності від глибини дискретної ділянки, адже характер їх виникнення буде впливати на зносостійкість трибо з'єднань.

**У четвертому розділі** проведені дослідження процесів зношування ТЛП при терті абразивними частинками, за результатами яких встановлено закономірності зношування ТЛП в умовах абразивного зношування при терті не жорстко закріпленими абразивними частинками, досліджено вплив конструктивно-технологічних і експлуатаційних параметрів на їх зносостійкість, виявлено фізичну природу руйнування поверхневих шарів. Показано, що підвищення зносостійкості трибосистеми з ТЛП в умовах абразивного зношування досягається проектуванням конструктивно-технологічних параметрів дискретних ділянок з урахуванням розміру абразивних частинок, зміцненням поверхневого шару ТЛП методом ІПТА, що дозволяє збільшити зносостійкість в 1,5–3,6 рази. Розкрито механізм зношування ТЛП з поглибленими дискретними ділянками в умовах абразивного зношування. Встановлено вплив розміру абразивних частинок з урахуванням глибини дискретної ділянки на зносостійкість текстурованої лункової поверхні. Встановлено, що структура нітридної фази, при зміцненні поверхневого шару дискретної поверхні іонним азотуванням, забезпечує не тільки заліковування дефектів, виключає пороутворення та отримання у шарі крихкого нітриду  $Fe_2N$ , але і створює оптимальні структурні передумови підвищення зносостійкості трибо з'єднань. За результатами аналізу побудованої математичної моделі і проведеної багатопараметричної оптимізації отримані оптимальні конструктивно-технологічні і експлуатаційні параметри за якими зносостійкість текстурованої лункової поверхні в умовах абразивного зношування має максимальні значення.

*Зауваження до розділу:*

- доцільно було б зробити порівняння результатів дослідження з основними показаннями отриманими гальванічними методами зміцнення

поверхневого шару трибоз'єднань, які широко використовуються на ремонтних підприємствах.

**П'ятий розділ** присвячено визначенню закономірностей зношування текстурованої лункової поверхні в умовах фретингу, побудовано фізичні, математичні моделі, здійснено моделювання температурно-силового навантаження методом скінченно-елементного аналізу, досліджено процеси керування властивостями текстурованою лунковою поверхнею в умовах припрацювання. Досліджено границю витривалості деталей з текстурованою лунковою поверхнею в умовах фретинг-утоми, визначено вплив фретингу та циклічного навантаження на довговічність деталей з ТЛП. Встановлено високу зносостійкість деталей з ТЛП в умовах зношування при фретингу, яка перевищує зносостійкість вихідної поверхні у 1,8–2,44 рази в залежності від конструктивно-технологічних параметрів дискретної ділянки та можливості видалення із зони трибоконтракту продуктів зношування, запобігаючи їх дії як абразивного матеріалу. Це надає можливість керувати процесами припрацювання при виборі оптимальної текстури дискретної поверхні, в період припрацювання зменшити коефіцієнт тертя на 57–62 %, зменшити період припрацювання на 10–20 % із стабільно низьким коефіцієнтом тертя в період після припрацювання. Для текстурованої лункової поверхні, зміцненої іонним азотуванням, тривалість періоду припрацювання зменшується в середньому на 38 %. Моделювання температурно-силового навантаження дозволило встановити картину розподілу НДС і температури текстурованої лункової поверхні. Показано, що застосування дискретної структури обмежує локальне перенапруження в місцях трибоконтракту за рахунок відсутності високих залишкових напружень. За результатами багатопараметричної оптимізації текстурованої лункової поверхні і побудованої математичної моделі встановлено оптимальні параметри, за якими знос має найменше значення. Формування текстурованих лункових поверхонь знижує границю витривалості зразків зі сталі 30ХГСА в умовах фретинг-утоми в 1,17 рази. Доведено, що напружено-деформований стан у зоні фретингу визначає довговічність сталі при фретинг-утомі, а концентрація напружень і залишкові напруження в дискретних ділянках не впливають на граничний стан матеріалу в даних умовах. Установлено, що обробка дискретної поверхні іонним азотуванням істотно підвищує характеристики опору утомі досліджуваного матеріалу в умовах фретингу. Границя витривалості підвищується  $\sim$  у 1,4 рази, тобто наявність дискретних ділянок значно підвищує довговічність фретинг пари в умовах фретинг-утоми.

*Зауваження до розділу:*

- відсутні дані вибору оптимальних конструктивно-технологічних параметрів дискретних ділянок при максимальних значеннях границі витривалості в умовах фретинг-утоми.

**У шостому розділі** наведено результати досліджень ТЛП при терті ковзанні за умов граничного мащення, в результаті яких установлені основні закономірності зношування, сформовані системні уявлення про закономірності і процеси впливу магнітного поля на механізм вилучення продуктів зношування, які враховують дію магнітного поля кромок дискретних ділянок. Експериментальними дослідженнями встановлено, що ефект притягування продуктів зношування до дискретних ділянок текстурованої лункової поверхні є результатом збільшення на 10–26 % напруженості магнітного поля кромок дискретних ділянок у порівнянні з напруженістю магнітного поля у міжлунковому просторі. Доведено, що завдяки впливу внутрішнього магнітного поля кромок дискретних ділянок, в умовах трибоконтракту з текстурованою лунковою поверхнею, на регенерацію граничних мастильних плівок витрачається менше енергії за рахунок збільшення кількості діаманітних молекул мастильного матеріалу, що підтверджується зростанням тангенса кута діелектричних втрат в 1,8 рази в екстремальних умовах експлуатації, звідки гідродинамічним процесам у дискретних ділянках. Побудовані математичні моделі, які дозволили визначити оптимальну текстуру дискретної поверхні. Методом скінченно-елементного аналізу встановлено, що наявність дискретних ділянок на поверхні тертя як без, так і зміцнених методом іонного азотування призводять до зниження напружень за рахунок їх перерозподілу по поверхні тертя, сприйняттям азотованим шаром на себе більшої частки навантаження. Азотований шар розвантажує основний матеріал, який має меншу границю міцності, саме таким чином підвищуючи загальний ресурс усієї деталі (конструкції).

*Зауваження до розділу:*

- не визначено вплив і значення сили поверхневого натягнення рідини в механізмі подачі мастильного матеріалу для регенерації граничної мастильної плівки. При яких обставинах вона діє?

**У сьомому розділі** узагальнено проведені дисертаційні дослідження, а також проведено техніко-економічний аналіз промислового використання технологічного процесу формування текстурованих лункових поверхонь. Коректність використання математичного апарату, задовільний збіг розрахункових та експериментальних даних, використанням сучасних фізико-хімічних методів аналізу підтверджують достовірність результатів досліджень. Відхилення експериментальних від розрахункових даних (за

математичними моделями) складають 2–7 %, що свідчить про достовірність отриманих результатів досліджень. Встановлено підвищення ресурсу сталевих деталей трибоз'єднань техніки спеціального призначення з текстурованою лунковою поверхнею у 2,5–4,1 рази, при порівнянні зі сталлю 30ХГСА.

Узагальнення результатів дисертаційних досліджень дало можливість розробити алгоритм підвищення триботехнічних характеристик деталей техніки спеціального призначення з текстурованою лунковою поверхнею, за рахунок оптимізації комбінованого технологічного процесу та практичних рекомендацій щодо зміцнення поверхневого шару іонним азотуванням. Економічний ефект від впровадження технологічного процесу формування текстурованих лункових поверхонь при створенні техніки спеціального призначення, складає 44937 грн. річної економії при використанні одного пристрою.

**Висновки** дисертаційної роботи ґрунтуються на аналізі отриманих наукових та практичних результатів, які наведені в кінці кожного розділу та в узагальненому вигляді в заключній частині дисертації.

**Список літературних джерел** включає 663 найменування, що свідчить про глибоке і ґрунтовне опанування дисертантом обробленої інформації вітчизняних і закордонних джерел за обраною тематикою та її аналіз.

**У додатках** наведено основні параметри і технічні дані установки іонно-плазмового термоциклічного азотування, блок-схема алгоритму підвищення триботехнічних характеристик сталевих деталей техніки спеціального призначення текстурованими лунковими поверхнями, зміцнених методом іонного азотування, розрахунок економічних показників та акти реалізації результатів наукових досліджень.

**Наукова новизна роботи.** У відповідності з метою досліджень дисертантом були розроблені такі наукові положення. Запропоновано концептуальний підхід створення зносостійких текстурованих лункових поверхонь з поглибленими дискретними ділянками, який базується на комбінації технологій поверхнево-пластичного деформування та іонного азотування. Даний підхід базуються на дослідженні напружено-деформованого стану як окремої дискретної ділянки, так і дискретної поверхні в цілому, та математичному моделюванні закономірностей їх формування. Розкрито механізм зношування ТЛП з поглибленими дискретними ділянками в умовах абразивного зношування при терті нежорстко закріпленими абразивними частинками, основою якого є нейтралізація розміцнюючої дії дискретних ділянок іонним азотуванням як

концентратора напружень. Це дозволяє збільшити зносостійкість в 1,5–3,6 рази. Установлено закономірність зношування текстурованих лункових поверхонь в умовах фретинг-зношування при обмеженій подачі мастильного матеріалу в зону трибоконтакту, яка на відміну від існуючої враховує конструктивно-технологічні параметри дискретної ділянки та можливість видалення із зони трибоконтакту продуктів зношування, запобігаючи їх дії як абразивного матеріалу. Це надає можливість керувати процесами припрацювання при виборі оптимальної текстури дискретної поверхні, в період припрацювання зменшити коефіцієнт тертя на 57–62 %, зменшити період припрацювання на 10–20 % та збільшити зносостійкість в період після припрацювання у 1,8–2,44 рази. Сформовані системні уявлення про закономірності і процеси впливу внутрішнього магнітного поля кромek дискретних ділянок на механізм вилучення продуктів зношування. Встановлено, що ефект притягування продуктів зношування до дискретних ділянок текстурованої лункової поверхні є результатом збільшення на 10–26 % напруженості магнітного поля кромek дискретних ділянок у порівнянні з напруженістю магнітного поля у міжлунковому просторі. Доведено, що завдяки впливу внутрішнього магнітного поля кромek дискретних ділянок, в умовах трибоконтакту з текстурованою лунковою поверхнею на регенерацію граничних мастильних плівок витрачається менше енергії за рахунок збільшення кількості діаманітних молекул мастильного матеріалу, що підтверджується зростанням тангенса кута діелектричних втрат в 1,8 рази. Побудовані математичні моделі технологічного процесу формування текстурованих лункових поверхонь з поглибленими дискретними ділянками при різних видах тертя та зношування, які на відміну від існуючих враховують розміри, розташування і глибину дискретних ділянок для оцінки триботехнічних характеристик для різних умов експлуатаційного навантаження, що дозволяє керувати властивостями поверхневого шару.

**Практична цінність роботи** полягає у тому, що дисертантом отримані нові результати, які є науково-методологічною основою розробки комбінованого технологічного процесу підвищення зносостійкості деталей і вузлів тертя техніки спеціального призначення в екстремальних умовах експлуатації, та дозволяють на етапах їх створення (розробки й виробництва) здійснити вибір раціональних за складом та властивостями текстурованих лункових поверхонь з поглибленими дискретними ділянками для підвищення зносостійкості конструктивних елементів в умовах експлуатаційного навантаження. Розроблено та захищено деклараційними патентами України і впроваджено в практику експериментальних випробувань пристрій для



формування текстурованих лункових поверхонь, спосіб отримання рельєфних зносостійких текстурованих лункових азотованих шарів сталевих деталей і спосіб покращення триботехнічних властивостей пар тертя, за рахунок впливу внутрішнього магнітного поля дискретних ділянок. Розроблено комбінований технологічний процес формування текстурованих лункових поверхонь для підвищення довговічності допоміжних накладок корінних листів та опорних сухарів ресор автомобільної техніки, що дозволило збільшити ресурс ресор в 1,7 рази. Ефективність запропонованих рішень підтверджується деклараційними патентами України.

Технологію формування текстурованих лункових поверхонь, зміцнених методом іонного азотування, на конструктивних елементах деталей використано при виробництві та модернізації силових рухомих з'єднань гелікоптерів Мі-171, Мі-8МТВ-1, Мі-8Т, а саме болтових з'єднаннях шасі і підвісних паливних баків. Економічний ефект від впровадження технології забезпечується за рахунок підвищення ресурсу конструктивних елементів гелікоптерів. Застосування текстурованих лункових поверхонь дозволило підвищити зносостійкість поверхонь тертя деталей і вузлів авіаційної техніки більш ніж на 50 %. Зміцнення робочої поверхні поршневого пальця текстурованою лунковою поверхнею показали покращення працездатності пари тертя «поршневий палець – втулка шатуна» енергоагрегата ЭА-10 бронетанкової техніки за рахунок зменшення схильності до схоплювання.

Річний економічний ефект від впровадження у виробничий процес метода формування текстурованих лункових поверхонь з поглибленими дискретними ділянками становив 44937 грн. при використанні одного пристрою. Запропоновано алгоритм підвищення триботехнічних характеристик деталей техніки спеціального призначення текстурованою лунковою поверхнею, який базується на оптимізації комбінованого технологічного процесу та практичних рекомендаціях щодо зміцнення поверхневого шару іонним азотуванням.

**Достовірність результатів та висновків.** Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані у роботі, обґрунтовані достатньо переконливо та повно. Достовірність та обґрунтованість одержаних у дисертації наукових положень підтверджуються коректною постановкою наукової проблеми, використанням апробованого математичного апарату, збігом результатів теоретичних досліджень з результатами проведених експериментальних досліджень, упровадженням технології у виробництво.

В роботі застосовано комплексний підхід до наукових досліджень, який забезпечив всебічне і глибоке вивчення та аналіз процесів, які відбуваються

на поверхні тертя текстурованої лункової поверхні з поглибленими дискретними ділянками, дозволив оптимізувати технологію їх формування з метою отримання найкращих триботехнічних характеристик. Комплекс досліджень включав в себе метод багатофакторного планування експерименту і математичної обробки статистичних даних, що дозволяє представити процес у вигляді функціональної залежності вхідних і вихідних параметрів; метод найменших квадратів – для обробки отриманих результатів; рентгеноструктурні методи – для визначення кристалографічної текстури у поверхневому шарі деталей і структурно-фазових змін; методи растрової електронної мікроскопії та рентгенівського аналізу – для дослідження особливостей мікроструктури поверхневого шару, вмісту та розподілу легуючих елементів у дискретній поверхні, фрактографічних досліджень зруйнованих поверхонь та зломів; методи інженерної механіки – для дослідження залишкових напружень у дискретній поверхні, їх мікротвердості, триботехнічних характеристик в умовах абразивного зношування і зношування при фретингу, фретинг-утомі, тертя ковзання; метод скінченно-елементного аналізу – для оцінки напружено-деформованого стану та визначення граничних напружень деталей з текстурованою лунковою поверхнею в умовах дії статичних та циклічних навантажень.

**Повнота викладення основних результатів дисертації у наукових фахових виданнях.** Основні результати дисертаційних досліджень Марчука В.Є. опубліковані в 60 наукових працях, у тому числі: 30 праць у фахових виданнях переліку МОН України; 6 наукових праць в іноземних спеціалізованих виданнях і виданнях України, які внесені до реєстру міжнародних наукометричних баз даних; 17 матеріалів та тез доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях і семінарах; 7 патентів України.

**Загальні зауваження по змісту та оформленню дисертації і автореферату.**

1. У першому розділі слід було б приділити більше уваги аналізу інформації щодо впливу конструктивних параметрів дискретних ділянок на триботехнічні та фізико-механічні властивості металів.

2. Якість мікрофотографій поверхонь (рис. 4.2, 4.5-4.8,6.2) низька тому важко підтвердити або спростувати сказане в основному тексті.

3. В роботі присутні друкарські помилки (стор. 9 автореферату, стор. 325 дисертації).

## Загальний висновок по дисертаційній роботі

Дисертаційна робота Марчука В.Є. «Науково-методологічні основи підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей з текстурованою лунковою структурою в екстремальних умовах експлуатації» є закінченою науковою працею, в якій отримані нові, науково-обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що забезпечують підвищення зносостійкості деталей техніки спеціального призначення. Напрямок проведеного дослідження відповідає паспорту спеціальності 05.02.04 – тертя та зношування в машинах. Аналіз дисертаційної роботи показав, що в ній вирішено важливу наукову проблему – створення і практичне використання нових високоефективних ресурсозберігаючих технологій управління функціональними властивостями деталей техніки спеціального призначення за рахунок направлено створення зносостійких поверхневих шарів і управління їх властивостями при обмеженій подачі мастильного матеріалу за умов різних видів тертя та зношування. Викладене вище дозволяє стверджувати, що дисертація Марчука В.Є. «Науково-методологічні основи підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей з текстурованою лунковою структурою в екстремальних умовах експлуатації» є закінченою науково-дослідною роботою, яка відповідає вимогам пунктів 9, 10, 13 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567 (зі змінами) до докторських дисертацій за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах, а її автор, Марчук Володимир Єфремович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук.

Доктор технічних наук, професор,  
директор машинобудівного  
інституту Запорізького  
національного технічного  
університету



Л. Й. Івченко

Підпис доктора технічних наук  
професора Івченко Л. Й.  
засвідчую

