

ВІДГУК

офіційного опонента кандидата технічних наук Цимбала Богдана Михайловича на дисертаційну роботу Варварова Валерія Володимировича «Підвищення ресурсу трибосистем в агрегативанні переведенням їх в режим аномально низького тертя та зношування», подану до захисту у спеціалізовану вчену раду К 64.832.03 Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах

Актуальність теми дисертації

Сучасні досягнення структурно-енергетичної та молекулярно-механічної теорії тертя та зношування дозволили розглянути трибосистему як генератор з перетворенням механічної енергії в теплову. Всі розробки, які мають за мету підвищення зносостійкості трибосистем, прямо або побічно спрямовані на підвищення коефіцієнта корисної дії теплового генератора. Було визначено два основні шляхи таких розробок: зменшення частки енергії, яка використовується на руйнування поверхневого шару за рахунок вдосконалення мастильного матеріалу, структур матеріалів, нанесення різного роду зносостійких покриттів; вдосконалення умов контактної взаємодії, зменшення коефіцієнта тертя і, як наслідок, зменшення абсолютної величини зовнішньої енергії, що потрапляє до трибосистеми у процесі тертя. Останній приведений шлях є більш перспективним. Сучасний розвиток трибоматеріалознавства дозволив сформулювати новий, достатньо ефективний спосіб зниження тертя та зношування різних трибосистем шляхом трибомодифікування поверхневого шару. Метою такого трибомодифікування є створення найбільш сприятливих умов мікроконтактної квазіпружної взаємодії, яка виникає на рівні мікрорельєфу. Розгляд квазіпружної взаємодії з позиції нерівноважної термодинаміки дозволив висунути гіпотезу, що така взаємодія може бути антидисипативним фактором, який призводить до виведення із трибосистеми накопиченої внутрішньої енергії. Серед цих факторів основний внесок припадає покладається на кінетичну (хвильову) складову сили тертя, що формується за різниці швидкостей гальмування у разі молекулярно-механічної взаємодії мікронерівностей поверхонь за умов проковзування при їх розгоні. Докладне

вивчення теоретичних досліджень у цьому напрямі, разом з аналізом відомих дисипативних властивостей квазіпружної взаємодії, може надати більш глибоке розуміння цього ефекту. Такий підхід сприяє більш широкому розумінню умов досягнення аномально низького тертя і зношування та дозволяє розробити універсальну теорію застосування цього явища у трибології.

Виходячи з вищенаведеного, вважаю, що тема цієї дисертаційної роботи є актуальною.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджується її зв'язком з тематикою ХНТСТГ ім. Петра Василенка та ХНУПС ім. Івана Кожедуба і подальшими перспективами розвитку отриманих результатів у галузі трибоматеріалознавства та підвищення ресурсу трибосистем в агрегативанні.

Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій

Наведені в дисертаційній роботі наукові узагальнення та висновки з теоретичного й експериментального підтвердження критеріїв досягнення аномально низького тертя та зношування у трибології базуються на ретельному аналізі багатьох теоретичних і експериментальних досліджень, виконаних іншими авторами, та були досягнуті автором під час вирішення поставлених завдань.

Розроблена структурно-енергетична модель перетворення енергії в умовах аномально низького тертя і зношування є адекватною та її правомірність підтверджується теоретичними дослідженнями Шведова С.В. Розроблена модель контактної взаємодії мікронерівностей (мікрошорсткостей) трибоелементів у разі формування хвильової складової сили тертя, припущення й обмеження, взяті під час розробки моделі, механізм накопичення енергії в підповерхневому шарі в умовах контактної взаємодії мікронерівностей та схематичне зображення роботи технічної системи в умовах аномально низького тертя і зношування виконано методологічно правильно та є адекватними.

Проведений амплітудно-частотний аналіз коливань в умовах аномально низького тертя та зношування, отримані автором експериментальні залежності переходу трибосистеми від аномально низького тертя до негативного тертя при зміні умов тертя, двократним зниженням діючих контактних навантажень на сталому режимі тертя, двократним зниженням діючих контактних навантажень на сталому режимі аномально низького тертя і зношування, виконано методологічно правильно, спираючись на методи системного аналізу, методи теорії ідентифікації динамічних об'єктів,

аналіз розмірностей для отримання критеріїв подібності, випробувань на зносостійкість, обробки й аналізу експериментальних даних за допомогою методів математичної статистики.

Висновки за розділами певною мірою відображають отримані результати та узгоджуються із висновками по роботі, містять наукову новизну, розкривають сутність вирішення поставлених у роботі задач.

В цілому обґрунтованість сформульованих теоретичних положень, висновків і рекомендацій не викликає сумнівів. Виконана дисертаційна робота надає наукове обґрунтування критеріям трибологічних систем в умовах аномально низького тертя та зношування у новому їх вигляді, що зумовлює подальше вдосконалення існуючих трибосистем.

Наукова новизна матеріалів дисертації

Основну частину дисертаційної роботи автор присвятив проведенню амплітудно-частотного аналізу коливань в умовах аномально низького тертя та зношування. Автором було зафіксовано дві області піків амплітудно-частотної характеристики за умов аномально низького тертя та зношування: у низькочастотній області – від молекулярно-механічної складової сили тертя (яка спостерігається й у випадку нормального тертя) та у високочастотній області – від хвильової складової сили тертя (притаманної тільки умовам аномально низького тертя та зношування). Автором дисертаційної роботи було отримано експериментальні залежності, які дозволяють зафіксувати перехід трибосистеми від аномально низького тертя до негативного тертя (від'ємний коефіцієнт тертя) за зміни умов тертя двократним зниженням діючих контактних навантажень на сталому режимі аномально низького тертя та зношування. Показано, що основним механізмом руйнування поверхонь у разі негативного тертя є значне перевищення хвильової складової сили тертя над молекулярно-механічною за рахунок накопиченої енергії в підповерхневому шарі. Було встановлено реологічну будову поверхневого шару трибосистем, при якій у значній мірі зростає хвильова складова сили тертя та виникають умови для переходу трибосистеми до аномально низького тертя та зношування. Доведено, що одна з поверхонь ТС повинна бути квазіжорстким тілом, а друга поверхня повинна мати реологічну будову за моделлю Шведова: поверхневий шар – квазіпружний (тіло Гука), підповерхневий шар – пружнопластичний (комбінація тіл Максвелла та Сен-Венана). Автором було удосконалено структурно-енергетичну модель перетворення енергії в умовах аномально низького тертя та зношування. Для досягнення аномально низького тертя та зношування

повинно бути два канали дисипації енергії: перший – на рівні контактної взаємодії, а другий – додатковий – за рахунок накопиченої в підповерхневому шарі енергії.

Практична значущість матеріалів дисертації

Практична значущість отриманих результатів полягає в розробленні практичних рекомендацій з модифікування бронзових елементів трибосистем «сталь–бронза» за рахунок насичення їх поверхневого шару кремнієм за певною технологією на етапі фінішної обробки, при якому відбувається спрямовага зміна реологічної будови поверхневих шарів трибосистем «сталь–бронза» та в них виникають умови аномально низького тертя та зношування, що значно підвищує їх ресурс.

Результати роботи впроваджено на АТ «ФЕД» під час виготовлення приводів-генераторів ГП21КМ літаків сімейства Ан 148/158/178, ресурс яких збільшився більш ніж в 4 рази, що підтверджується наявністю акта впровадження наукових результатів та рішенням про розробку і постачання приводів-генераторів ГП21КМ для літаків сімейства Ан 148/158/178.

Достовірність матеріалів дисертації

Достовірність матеріалів дисертаційного дослідження, наукових положень, висновків і практичних рекомендацій підтверджено наступним.

Розв'язання поставлених у роботі задач спирається на відомі закономірності зміни характеристик тертя та зношування у трибосистемах машин під час припрацювання й після нього, а також у процесі проведення порівняльних амплітудно-частотних характеристик трибосистеми у випадку нормального механічного зношування та аномально низького тертя та зношування.

Для проведення експериментальних випробувань використовували наступне обладнання, а саме аналітичні терези ВЛР-200 з точністю 10^{-4} грама, модернізовану стандартну машину тертя 2070 СМТ-1. Під час вимірювання шорсткості похибка вимірювання не перевищувала 10 %, відтворюваність становила ≤ 6 %. Під час мікрорентгеноспектрального аналізу важких елементів відносна чутливість важких елементів складала 0,2–0,8 %, а легких – 1–5 %. Під час вимірювання пружних коливань у трибосистемі похибка вимірювань не перевищувала 3,5 %. Отримані результати випробувань були оброблені методом математичної статистики з використанням критерію Стьюдента, причому довірна ймовірність складала 95 %.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності

У першому розділі «Теоретичні умови досягнення аномально низького тертя та зношування у трибології» автор, на основі аналізу механізмів дисипації зовнішньої енергії, що підводиться до трибосистеми, як факторів зниження тертя в різноманітних областях живої та неживої природи, встановив, що в експериментальній та теоретичній трибології наявність хвильової складової тертя і зношування подається як додатковий фактор дисипації енергії, що підводиться ззовні, який не має значного впливу. При цьому він стверджує, що за певних термодинамічних умов у трибосистемах формується достатньо значна хвильова складова сили тертя, яка істотно зменшує молекулярно-механічну складову. При цьому доведено, що перехід від нормального механохімічного тертя та зношування до аномально низького тертя та зношування можливий після формування поверхневого шару з певними реологічними характеристиками: один з елементів ТС повинен бути квазіжорстким тілом, а другий повинен мати реологічну будову за моделлю Шведова (поверхневий шар – квазіпружний, підповерхневий шар – пружно-пластичний). В якості основного джерела перетворення енергії виступають енергетичні дефекти – фонони – кванти хвиль розтягування-стиснення і зсуву (звукові хвилі), які виступають основною причиною енергетичного знищення. Певний акцент автор ставить на те, що величина енергії в умовах аномально низького тертя та зношування оцінюється з точки зору квантової теорії величиною механічного кванта – мінімального числа атомів, здатних забезпечувати такий конфігураційний розподіл наноструктури, який має властивості зворотно сприймати і розсіювати (повертати) енергію зовнішнього механічного руху. Автор обґрунтовує те, що саморегулювання трибосистем в умовах аномально низького тертя та зношування відбувається за каналом надлишкового виробництва структурної ентропії, яка визначає вид стійкості й може набути як позитивних, так і негативних значень. При цьому відзначається, що в умовах нормального механохімічного зношування саморегулювання відбувається за каналом термодинамічної ентропії, виробництво якої для досягнення рівноваги прагне до мінімуму.

На підставі розглянутих відомостей, даних, проміжних власних суджень автором було сформульовано мету, задачі дослідження, які дозволили отримати адекватні результати.

У другому розділі «Методичні рішення при теоретичних та експериментальних дослідженнях аномально низького тертя та зношування»

автором було розглянуто методичний підхід, який використано в роботі під час дослідження досягнення аномально низького тертя та зношування в реальних трибосистемах, які використовуються в сучасному агрегатобудуванні. Модифікування поверхневих шарів трибосистем для досягнення певних реологічних умов трансформації енергії автор проводив насиченням поверхневих шарів бронзових зразків кремнієм різними методами. Порівняльні трибологічні дослідження на тертя та зношування автором проводились на модернізованій серійній машині тертя 2070 СМТ-1 за схемою «кільце–кільце». Було обрано в якості матеріалів для випробувань сталь 30Х3ВА та бронзи ВБ23НЦ і БрО10С2НЗ, які використовуються при виготовленні аксіально-поршневих насосів та приводів генераторів літаків сімейства Ан 148/158/178. Для проведення трибологічних випробувань обрано як робоче середовище при терті – авіаційне паливо ТС 1. Під час проведення лабораторних випробувань автор реєстрував момент тертя (з перерахунком у коефіцієнт тертя), середню поверхневу температуру зразків безконтактним методом, ваговий знос за 8 годин випробувань та швидкість зношування у реальному масштабі часу методом акустичної емісії. Для аналізу фізико-механічних властивостей автором виконувалась непряма оцінка мікротвердості за глибиною робочого шару зразків після випробувань. Для цього проводилися вимірювання мікротвердості за навантажень 0,5; 1 та 2 Н. Шорсткість і профіль поверхні зразків визначалась двома методами: за допомогою профілометра-профілографа TR200 фірми «JENOPTIK», відповідного стандартам ISO 4287-1997, та фрактографічні особливості поверхонь – на мікроскопі ЛСДФПМ. Мікроструктуру та розподіл компонентів та їх ідентифікацію в поверхневих шарах трибоелементів досліджували на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106. Проводилися вимірювання амплітудно-частотних характеристик для досліджуваних трибосистем осцилографом Rigol DS1052E з широкосмуговим датчиком акселерометром фірми «Brüel & Kjaer» типу 4335.

В цілому сукупність наведеної інформації розкриває особливості методичного забезпечення теоретичних і експериментальних досліджень автора наукової праці.

У третьому розділі «Структурно-енергетична модель перетворення енергії в умовах аномально низького тертя та зношування» наведено теоретичні дослідження автора. Ці результати, по-перше, базувалися на моделі контактної взаємодії мікронерівностей (шорсткостей) трибоелементів та механізмів накопичення енергії в підповерхневому шарі, сформованому за реологічним принципом Шведова, та визначенні механізму формування хвильової складової сили тертя. Автором було встановлено, що контактна

взаємодія мікронерівностей за моделлю твердого тіла у вигляді міжатомних зв'язків дає можливість оцінити співвідношення молекулярної та механічної складових енергії при квазіпружній контактній взаємодії. Основний внесок роботи тертя (до 75 %) припадає на механічну складову, яка оцінюється імпульсом сили на плямі контакту і залежить від енергії контакту в стані зчеплення, ступеня збудження трибосистеми та енергій зовнішніх та внутрішніх сил. При цьому умовою досягнення АНТЗ є рівність робіт, які виконують зовнішні та внутрішні сили в умовах контактної взаємодії. Оцінка взаємодії як марківського процесу із двома двосторонніми станами (розпад і відновлення) дозволила автору отримати математичний вираз узагальненої складової імпульсу сили на плямі контакту від енергії контакту в стані зчеплення і параметра розподілення плям контакту за модулем канонічного розподілу енергії по лінії (поверхні) контакту. В роботі доведено, що основною причиною переходу трибосистем до аномально низького тертя та зношування є реологічні властивості поверхневого шару. Теоретично встановлено, що за зміни зовнішніх умов тертя змінюється ступінь збудження трибосистеми – n , яка залежить від кількості механічних квантів. При цьому автором було встановлено, що будь-яка зміна у трибосистемі, яка виводить її з рівноваги, згідно з принципом Ле Шательє ініціює у трибосистемі процеси, які намагаються повернути її у початкове положення.

В цілому сукупність наведеної інформації розкриває заявлені автором підходи щодо математичного опису перетворення енергії в умовах аномально низького тертя та зношування у модельних трибосистемах.

У четвертому розділі «Розробка способу модифікації поверхневого шару трибосистем для подовження їх ресурсних показників» для підтвердження теоретичних досліджень автором було проведено експериментальні дослідження з модифікації поверхневого шару бронзових зразків досліджуваних трибосистем. Для експериментальних досліджень обрано найбільш позитивний варіант модифікування поверхонь для реалізації аномально низького тертя та зношування – насичення поверхневого шару бронзових трибоелементів у процесі фінішної обробки кремнієм. При цьому це зумовило необхідність проведення автором попередніх експериментальних досліджень, в яких таке модифікування ним проводилось різними способами (обробка карбідом кремнію, обробка нефритом та послідовна обробка за обома способами). Автором проведено оптимізацію найбільш ефективного методу обробки та виконано порівняльні випробування на зносостійкість та задиростійкість (несучу здатність) трибосистеми, які працюють в умовах аномально низького тертя та зношування. Також автором проведено комплексні металофізичні

дослідження для пояснення фізичної суті переходу трибосистеми до аномально низького тертя та зношування за рахунок появи хвильової складової сили тертя. Отримані результати підтверджені проведенням порівняльних досліджень амплітудно-частотних характеристик трибосистеми при нормального механохімічного зношування та при аномально низькому терті та зношуванні. Автором було встановлено, що використання технології модифікації поверхневого шару бронзових зразків шляхом послідовної фінішної обробки спочатку карбідом кремнію, а потім нефритом, дозволяє змінити реологічну будову поверхневого шару, яка може бути описана моделлю Шведова, і дає можливість перетворювати підведену ззовні енергію по хвильовому каналу (наявність хвильової складової зовнішнього тертя). Доведено, що структурна самоорганізація у разі досягнення аномально низького тертя та зношування направлена на підтримання трибосистеми в цьому режимі роботи шляхом структурування поверхневого шару, спрямованого на підтримання аномально низького тертя та зношування. При цьому за підвищення навантажень поверхня істотно вигладжується, на відміну від нормального механохімічного зносу. Проведені автором ресурсні випробування показали практично повну відсутність зношування трибоелементів, які оброблені за технологією ПИ 02 17, що дозволяє експлуатувати агрегат за технічним станом у разі збільшення міжремонтного ресурсу в 4 рази.

Розділ за наведеною інформацією видається змістовним і завершеним.

П'ятий розділ «Механізми самоорганізації в трибосистемах, які працюють в умовах аномально низького тертя та зношування» продовжує проведення експериментальних досліджень механізмів самоорганізації трибосистеми для підтримання режиму аномально низького тертя та зношування за зміни зовнішніх умов роботи трибосистеми. Для аналізу автор використав квантомеханічний підхід до структурування поверхневого шару при формуванні хвильової складової сили тертя. Поняття механічного кванта, яке представлено в роботах інших авторів, дозволило автору стверджувати, що в контактному елементарному об'ємі за рівноважну шорсткість відповідає певна кількість механічних квантів, відповідно енергія контакту в стані зчеплення залежить від їх кількості. При цьому в результаті взаємодії формується результуюча векторна величина імпульсу сили хвильової складової сили тертя. Аналогічним чином формується результуюча величина імпульсу сили від молекулярно-механічної сили тертя, зсунутої за фазою. Встановлено, що за зміни навантаження, саморегулювання у трибосистемі, що працює в умовах аномально низького тертя та зношування, буде регулюватися кількістю механічних квантів і модулем канонічного розподілу

енергії по лінії (поверхні) контакту, а отже, структурою і топографією поверхневого шару, що було автором експериментально підтверджено і теоретично обґрунтовано з позицій термодинаміки. В роботі розроблено теоретичні обґрунтування механізмів самоорганізації трибосистем, які працюють в умовах нормального механохімічного й аномально низького тертя та зношування для визначення фізичної сутності роботи трибосистем, в яких створено такі умови, за зміни зовнішніх умов тертя.

Розділ за наведеною інформацією видається змістовним і завершеним.

В цілому наукова праця виглядає цілісною та логічно зв'язаною за змістом.

Характеристика дисертації в цілому

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, який містить 171 найменування на 12 сторінках і 3 додатків на 8 сторінках. Загальний об'єм дисертації складає 192 сторінки комп'ютерного набору, в тому числі 63 рисунки і 16 таблиць. Основний текст дисертації викладено на 184 сторінках.

Назва дисертаційної роботи відображає її зміст. Тематика та зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.02.04 – тертя та зношування в машинах і відображає логічну послідовність вирішення науково-технічного завдання.

За результатами досліджень опубліковано 9 наукових праць (2 одноосібні), з них 7 статей у фахових виданнях переліку МОН України, 2 – у закордонних виданнях, з них 1 – в базі SCOPUS, 9 публікацій матеріалів і тез конференцій.

Дисертація добре оформлена та багато ілюстрована, структура роботи є логічною, підпорядкована меті й задачам, які сформульовані у вступі. Оформлення і структура дисертації та автореферату відповідають вимогам до оформлення дисертацій, які представлені в наказі МОН №40 від 12.01.2017 року «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій». Однак відповідно до нього є наступні технічні зауваження.

1. Відповідно до п. 7 у змісті та наприкінці основної частини повинна бути назва елемента дисертації «Висновки», але написано «Загальні висновки».

2. На сторінці 4 (перший абзац) «Пік у першому діапазоні відображає енергетику від молекулярно-механічної складової сили тертя...», використання терміна «енергетика» не є вірним, бо вірним є термін «енергія».

3. На сторінці 5 (перший абзац) використання поняття «механічний знос» не є коректним, а є коректним «механічне зношування».

4. На сторінці 21 (перший та другий абзац) автор обґрунтовує тему дослідження, при цьому використовує певні статистичні дані та не є зрозумілим, що є джерелами цих даних?

5. На сторінці 24 автор, розкриваючи методи дослідження, «ГОСТ 9013-59» було скасовано 01.01.2019 року, замість нього ДСТУ ISO 6508-1:2013; «ГОСТ 2999-75» було скасовано 01.01.2019 року.

6. На сторінці 25 (перший абзац) не розкрито повну назву мікроскопа ЛСДФПМ.

7. Не є зрозумілим, чому саме автор до проведення випробувань зразки для випробувань промивав бензином «Калоша»?

8. На сторінці 66 автор використовує ГОСТ 17216-71 (відмінено 05.07.2004 р.), замість нього введено в дію ДСТУ ГОСТ 17216:2004.

9. Автором було отримано коефіцієнт взаємного перекриття зразків 0,85, але не є зрозумілим, як саме він його отримав?

10. Автором було обрано саме нерухомим трибоелементом бронзу (пряма пара). Яку саме трибосистему було змодельовано, яка саме деталь є цим трибоелементом?

11. На сторінці 108 (другий абзац) автор стверджує, що саме поверхневий шар є насиченим у процесі фінішної обробки саме кремнієм, але на сторінці 109 стверджує, що модифікація поверхневого шару відбувалась карбідом кремнію. Чим саме відбувалась обробка поверхневого шару?

12. Отримане рівняння регресії (стор. 128) не має нумерації.

13. На рис. 4.32 представлено ваговий знос трибосистеми, модифікованої послідовно карбідом кремнію та нефритом за технологією ПИ 02 17 (після оптимізації процесу модифікування), за 8 годин випробувань, який у трьох випадках дорівнює 0 гр., але на рис. 4.30 показано, що коефіцієнт тертя зростає під час припрацювання. Враховуючи це, чи можна стверджувати, що ваговий знос не дорівнює нулю, а наближений до нуля, бо під час припрацювання відбувається зношування?

14. На рис. 5.3 наведено результати хімічного аналізу поверхні бронзового зразка після подвійного послідовного модифікування карбідом кремнію та нефритом. Нефрит $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$ у своєму молекулярному складі містить молекули Ca та Mg, але під час хімічного аналізу їх не виявлено. Також на графіку рис. 5.3 не показано вміст Si та C.

Загальні висновки за дисертаційною роботою

Здобувачем вирішено актуальне наукове-практичне завдання з визначення факторів, які сприяють роботі реальних трибосистем «сталь–

бронза» в умовах аномально низького тертя та зношування (що значно підвищує їх ресурс), а також з розробки способу переведення їх до таких умов шляхом попередньої модифікації поверхонь.

Результати досліджень, висновки і рекомендації являють собою цінність для науки «Трибологія», оскільки вони за своїм сенсом, виглядом та тлумаченням розширюють раніше встановлені закономірності.

Недоліки, які відзначено в зауваженнях, не мають суттєвого впливу на якість виконаної роботи і скеровані на подальше її продовження з розширенням дослідження нових процесів, явищ та ефектів у трибосистемах об'єктів авіабудування.

Дисертаційна робота Варварова Валерія Володимировича є завершеною кваліфікаційною працею, актуальною за тематикою, виконаною на належному рівні.

В цілому робота за своїм змістом та важливістю отриманих результатів відповідає вимогам п.9, 11–13 документа «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567 (із змінами в законодавстві 2015, 2016, 2019, 2020 років), що висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор, Варваров Валерій Володимирович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальності 05.02.04 – тертя та зношування в машинах (131– Прикладна механіка).

Офіційний опонент, доцент
кафедри охорони праці та
техногенно-екологічної безпеки
Національний університет цивільного
захисту України,
к.т.н.



Богдан ЦИМБАЛ

