

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Барсук Андрій Сергійович**

УДК 621.74

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**ПРОЄКТНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ ПІДХІД В РОЗРОБЦІ**  
**ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ**  
**ЧАВУНУ ДЛЯ ВИЛИВКІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В УМОВАХ**  
**АБРАЗИВНОГО ТЕРТЯ**

Спеціальність: 136 – Металургія

Галузь знань: 13 – Механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

  
\_\_\_\_\_ А.С. Барсук

підпис

Ініціали та прізвище дисертанта

Науковий керівник

Дьомін Дмитро Олександрович

доктор технічних наук, професор

Харків – 2026

## Анотація

*Барсук А. С.* Проектно-експериментальний підхід в розробці технологічних заходів підвищення зносостійкості чавуну для виливків, що працюють в умовах абразивного тертя. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD) за спеціальністю 136 – Металургія. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2026.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі, пов'язаної з розробкою проектно-експериментального підходу стосовно технологічних заходів підвищення зносостійкості чавуну для виливків, що працюють в умовах абразивного тертя.

*Об'єкт дослідження* – чавун для виливків, що працюють в умовах абразивного тертя.

*Предмет дослідження* – оптимальний склад чавуну та легуючі комплекси, що забезпечують максимальні значення коефіцієнту зносостійкості, твердості, межі міцності на розрив, ударної в'язкості.

*Метою дисертаційної роботи* є розробка проектно-експериментального підходу в розробці технологічних заходів підвищення зносостійкості чавуну для виливків, що працюють в умовах абразивного тертя, на основі синтезу оптимальних хімічних складів чавуну та подальшої практичної реалізації відповідних технологічних рішень.

У *вступі* обґрунтовано актуальність проблеми, пов'язаної з тим, що вимоги до сплавів, які використовуються в машинобудуванні, диктуються експлуатаційними умовами застосування деталей, виготовлених з таких сплавів і серед виливків для машинобудування можна виділити окремо такі, які працюють в умовах інтенсивного тертя, зокрема абразивного тертя. Прикладами таких виливків є лопатки змішувачів різного функціонального

призначення, які швидко зношуються, що потребує досліджень, спрямованих а підвищення зносостійкості чавуну для таких виливків.

У *першому розділі* досліджено актуальні науково-технічні завдання, пов'язані з загальними підходами та напрямками пошуку рішень щодо заходів підвищення зносостійкості чавуну для виливків, що працюють в умовах абразивного тертя.

У *другому розділі* визначено закономірності впливу хімічного складу зносостійкого чавуну на межу міцності та коефіцієнт зносостійкості шляхом розробка математичних моделей «склад-властивості» для межі міцності та коефіцієнту зносостійкості, та визначенням напрямів практичного використання моделей для межі міцності чавуну та коефіцієнту зносостійкості в рамках проектно-експериментального підходу. Проведено якісний аналіз синтезованого чавуну по коефіцієнту зносостійкості.

У *третьому розділі* визначені напрямки легування зносостійкого чавуну шляхом виявлення впливу на твердість зносостійкого чавуну процесу легування титаном та виявлення впливу комплексного легування зносостійкого чавуну титаном на бором на ударну в'язкість. Визначено вплив ванадію на твердість комплексного Cr-Ni-Ti-Cu чавуну. Показано, що визначивши кількісно вплив обраних варіантів легування на показники зносостійкого чавуну, можна оптимізувати хімічний склад, цілеспрямовано регулюючи властивості чавуну, насамперед твердості, як основної властивості, що формує зносостійкість.

У *четвертому розділі* вирішена задача оптимізації хімічного складу зносостійкого чавуну, для чого обрано та обґрунтовано математичний апарат, яким можуть бути виявлені найкращі варіанти хімічного складу з точки зору впливу на показники зносостійкого чавуну. Показано, що для оптимізації хімічного складу зносостійкого чавуну варто використовувати два методи: канонічне перетворення поверхні відгуку та гребеневий аналіз, тому що вони дозволяють аналізувати поверхню відгуку на предмет поведінки вихідних змінних при русі від центру плану експерименту. При цьому можуть бути

визначені екстремуми функції, що описує вихідну змінну, а також локальні оптимуми з урахуванням обмежень, що накладаються на вхідні змінні. Такими обмеженнями можуть бути межі області варіювання вхідних змінних. Використанням таких методів виконана оптимізація складу зносостійкого чавуну за критеріями твердості та коефіцієнту зносостійкості, а також за критеріями межі міцності та ударної в'язкості.

У *п'ятому розділі* виконано розробку технологічних заходів підвищення зносостійкості чавуну для виливків, що працюють в умовах абразивного тертя. Для цього запропоновані напрямки вибору раціональних легуючих комплексів, що базується на визначенні якісного впливу кожного легуючого елемента на властивості чавуну, якими обрано твердість ( $HRC$ ), коефіцієнт зносостійкості ( $K_{wr}$ ), межа міцності на розтяг ( $\sigma_b$ ), ударна в'язкість ( $a_n$ ). Описано технологію виплавки комплексно легovanого зносостійкого чавуну для лопаток асфальтозмішувачів та представлено результати визначення хімічного складу, мікроструктури та твердості борохромонікелеванадієвого чавуну. Показано, що комплексне легування, що базується на поєднанні графітуючих та карбідоутворюючих елементів в складі борохромонікелеванадієвого чавуну для виготовлення лопаток асфальтозмішувачів забезпечує можливість отримання чавуну з твердістю в межах  $HRC49-HRC51$ .

У *висновках* наведено основні результати наукової роботи щодо вирішення поставлених наукових задач дослідження.

*За результатами дослідження отримано такі наукові результати:*

– Вперше побудовано математичну модель  $\sigma_b=f_1(C; C_{eq}; Ti)$ , що дозволяє визначити поведінку межі міцності на розтягування чавуну при зміні вмісту вуглецю та вуглецевого еквіваленту чавуну за різного легування його титаном та оптимізовано хімічний склад чавуну за критерієм максимізації межі міцності на розтягування.

– Вперше побудовано математичну модель  $K_{wr}=f_2(C; C_{eq}; Ti)$ , що дозволяє визначити поведінку коефіцієнту зносостійкості чавуну при зміні

вмісту вуглецю та вуглецевого еквіваленту чавуну за різного легування його титаном та оптимізовано хімічний склад чавуну за критерієм максимізації коефіцієнту зносостійкості.

– Вперше побудовано математичну модель  $HRC=f(C; C_{eq}; Ti)$ , що дозволяє визначити поведінку твердості чавуну при зміні вмісту вуглецю та вуглецевого еквіваленту чавуну за різного легування його титаном та оптимізовано хімічний склад чавуну за критерієм максимізації твердості.

– Вперше побудовано математичну модель  $a_n=f(C; C_{eq}; Ti)$ , що дозволяє визначити поведінку ударної в'язкості чавуну при зміні вмісту вуглецю та вуглецевого еквіваленту чавуну за різного легування його титаном та оптимізовано хімічний склад чавуну за критерієм максимізації ударної в'язкості, а також визначено особливості впливу на ударну в'язкість суміщеного легування чавуну титаном та бором.

– Знайшли подальший розвиток напрямки вибору раціональних легуючих комплексів з урахуванням різного впливу легуючих елементів на властивості зносостійкого чавуну.

– Знайшли подальший розвиток технологія виготовлення комплексно легованого чавуну для лопаток асфальтозмішувачів.

*Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:*

– надано практичні рекомендації для конструкторів по підборі хімічному складу чавуну, який має забезпечувати вимоги по межі міцності на розрив, та для технологів по раціональному складу шити та підбору таких режимів легування чавуну титаном за обраного технологіями хімічного складу чавуну, які забезпечують максимум межі міцності чавуну;

– надано практичні рекомендації по забезпеченню високих значень зносостійкості чавуну для виготовлення деталей, які працюють в умовах інтенсивного абразивного тертя, завдяки оптимізації хімічного складу чавуну по критерію максимуму коефіцієнта зносостійкості, з можливістю варіативного вибору раціонального режиму коригування вмісту кремнію та марганцю шляхом введення феросиліцію та феромарганця;

– надано методику вибору раціональних варіантів підвищення твердості чавуну для деталей типу «лопатки змішувачів», поверхні яких піддаються інтенсивному тертю з боку абразивних елементів, шляхом комбінованого легування чавуну титаном та введення феросплавів, що впливають як на процес графітизації, так і на процес карбідоутворення;

– надано методику вибору хімічного складу зносостійкого чавуну для деталей, що працюють в умовах абразивного тертя, який може бути використаний для розрахунку та оптимізації шихти за критеріями витрат на шихтові матеріали та одночасного забезпечення комплексу вимог по механічним властивостям чавуну – або твердості, або межі міцності на розрив, коефіцієнту зносостійкості та ударної в'язкості;

– надані практичні рекомендації по легуванню чавуну бором, хромом, нікелем, ванадієм, виконання яких забезпечує підвищення твердості чавуну та зносостійкості і, відповідно, експлуатаційного ресурсу лопаток асфальтозмішувачів;

– отримані в дисертаційній роботі результати можуть бути впроваджені в ливарних цехах машинобудівних підприємств.

За результатами дослідження підтверджено практичну та теоретичну цінність розробленого проєктно-експериментального підходу в розробці технологічних заходів підвищення зносостійкості чавуну для виливків, що працюють в умовах абразивного тертя, надано практичні рекомендації щодо вибору легуючих елементів, відповідно необхідного вмісту вуглецю та вуглецевого еквіваленту задля отримання зносостійкого чавуну для лопаток змішувачів, які працюють за умов абразивного тертя, а також розглянуто перспективи подальшого розвитку дослідження.

*Ключові слова:* зносостійкість чавуну, абразивне тертя, легування, легуючі елементи, вуглецевий еквівалент, механічні властивості, твердість, коефіцієнт зносостійкості, ударна в'язкість, лопатки змішувачів, індукційна плавка, мікроструктура, лиття, структурні та фазові характеристики, фазовий склад, хімічний склад, зносостійка структура, карбіди титану, стійкість

деталей, що працюють в умовах абразивного зношування, зносостійкі покриття, поверхневе зміцнення.

## ABSTRACT

Barsuk A. S. Design-experimental approach in the development of technological measures to increase the wear resistance of cast iron for castings operating under abrasive friction conditions. Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in specialty 136 – Metallurgy. – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2026.

The dissertation is devoted to solving a topical scientific and technical problem related to the development of a design-experimental approach to technological measures to increase the wear resistance of cast iron for castings operating under abrasive friction conditions

The object of the study is cast iron for castings operating under abrasive friction conditions.

The subject of the study the optimal composition of cast iron and alloying elements that ensure maximum values for wear resistance, hardness, tensile strength, and impact toughness.

The aim of the dissertation is to develop a design-experimental approach in the development of technological measures to increase the wear resistance of cast iron for castings operating under abrasive friction conditions, based on the synthesis of optimal chemical compositions of cast iron and the subsequent practical implementation of relevant technological solutions.

The introduction substantiates the relevance of the problem, which is related to the fact that the requirements for alloys used in mechanical engineering are dictated by the operating conditions of parts made of such alloys, and among castings for mechanical engineering, one can distinguish those that operate under

conditions of intense friction, in particular abrasive friction. Examples of such castings are mixer blades of various functional purposes, which wear out quickly, which requires research aimed at increasing the wear resistance of cast iron for such castings.

The first chapter examines current scientific and technical tasks related to general approaches and directions for finding solutions to measures to increase the wear resistance of cast iron for castings operating under conditions of abrasive friction.

The second chapter determines the patterns of the influence of the chemical composition of wear-resistant cast iron on the tensile strength and wear resistance coefficient by developing mathematical models of "composition-property" for the tensile strength and wear resistance coefficient, and by determining the directions of practical use of models for the tensile strength of cast iron and wear resistance coefficient within the framework of the design-experimental approach. A qualitative analysis of the synthesized cast iron by the wear resistance coefficient was carried out.

The third chapter determines the directions of alloying wear-resistant cast iron by identifying the influence of the titanium alloying process on the hardness of wear-resistant cast iron and identifying the influence of complex alloying of wear-resistant cast iron with titanium and boron on impact toughness. The influence of vanadium on the hardness of complex Cr-Ni-Ti-Cu cast iron is determined. It is shown that by quantitatively determining the influence of selected alloying options on the performance of wear-resistant cast iron, it is possible to optimize the chemical composition, purposefully regulating the properties of cast iron, primarily hardness, as the main property that forms wear resistance.

The fourth chapter solves the problem of optimizing the chemical composition of wear-resistant cast iron, for which a mathematical apparatus is selected and justified, which can identify the best options for the chemical composition from the point of view of the impact on the indicators of wear-resistant cast iron. It is shown that two methods should be used to optimize the

chemical composition of wear-resistant cast iron: canonical transformation of the response surface and comb analysis, because they allow analyzing the response surface for the behavior of the output variables when moving from the center of the experimental plan. In this case, the extrema of the function describing the output variable can be determined, as well as local optima, taking into account the restrictions imposed on the input variables. Such restrictions can be the boundaries of the range of variation of the input variables. Using such methods, the composition of wear-resistant cast iron was optimized according to the criteria of hardness and wear resistance coefficient, as well as the criteria of ultimate strength and impact toughness.

The fifth chapter developed the technological measures to increase the wear resistance of cast iron for castings operating under abrasive friction conditions. For this purpose, directions for choosing rational alloying complexes are proposed, which is based on determining the qualitative influence of each alloying element on the properties of cast iron, which are selected for hardness (HRC), wear resistance coefficient ( $K_{wr}$ ), tensile strength ( $\sigma_b$ ), impact toughness ( $a_n$ ). The technology for melting complexly alloyed wear-resistant cast iron for asphalt mixer blades is described and the results of determining the chemical composition, microstructure and hardness of boron chromium nickel vanadium cast iron are presented. It is shown that complex alloying, based on a combination of graphitizing and carbide-forming elements in the composition of boron chromium nickel vanadium cast iron for the manufacture of asphalt mixer blades, provides the possibility of obtaining cast iron with a hardness within HRC49–HRC51.

The conclusions present the main results of scientific work on solving the scientific problems of the study.

*The following scientific results were obtained as a result of the study:*

For the first time, a mathematical model  $\sigma_b=f_1(C; C_{eq}; Ti)$  has been constructed, which allows determining the behavior of the tensile strength of cast iron when changing the carbon content and carbon equivalent of cast iron with

different alloying with titanium, and the chemical composition of cast iron was optimized according to the criterion of maximizing the tensile strength.

For the first time, a mathematical model  $K_{wr}=f_2(C; C_{eq}; Ti)$  has been constructed, which allows determining the behavior of the wear resistance coefficient of cast iron when changing the carbon content and carbon equivalent of cast iron with different alloying with titanium, and the chemical composition of cast iron was optimized according to the criterion of maximizing the wear resistance coefficient.

For the first time, a mathematical model  $HRC=f(C; C_{eq}; Ti)$  has been constructed, which allows determining the behavior of the hardness of cast iron when changing the carbon content and carbon equivalent of cast iron with different alloying with titanium, and the chemical composition of cast iron was optimized according to the criterion of maximizing hardness.

For the first time, a mathematical model  $a_n=f(C; C_{eq}; Ti)$  has been developed, which allows determining the behavior of cast iron's impact toughness as the carbon content and carbon equivalent of the cast iron vary under different titanium alloying conditions, and the chemical composition of the cast iron has been optimized to maximize impact toughness, and the specific effects of combined titanium and boron alloying on the impact toughness of cast iron have been determined

Further research has been conducted on the selection of optimal alloying systems, taking into account the varying effects of alloying elements on the properties of wear-resistant cast iron.

The technology for producing complex-alloyed cast iron for asphalt mixer blades has been further developed.

*The practical significance of the results obtained is as follows:*

– Practical recommendations are provided for designers on selecting the chemical composition of cast iron to meet tensile strength requirements, and for process engineers on the optimal composition of the charge and the selection of

titanium alloying conditions for the cast iron composition chosen by the process engineers, which ensure maximum tensile strength of the cast iron;

- practical recommendations are provided for ensuring high wear resistance in cast iron used to manufacture components operating under conditions of intense abrasive friction, achieved by optimizing the chemical composition of the cast iron to maximize the wear resistance coefficient, with the possibility of flexibly selecting an optimal adjustment regime for silicon and manganese content by adding ferrosilicon and ferromanganese;

- a methodology is presented for selecting optimal approaches to increasing the hardness of cast iron for components such as “mixer blades,” whose surfaces are subjected to intense friction from abrasive elements, through the combined alloying of cast iron with titanium and the addition of ferroalloys that influence both the graphitization process and the carbide formation process;

- a methodology is provided for selecting the chemical composition of wear-resistant cast iron for components operating under abrasive friction conditions, which can be used to calculate and optimize the charge composition based on the cost of raw materials while simultaneously meeting a set of requirements for the mechanical properties of the cast iron—either hardness or tensile strength, wear resistance coefficient, and impact toughness;

- practical recommendations are provided for alloying cast iron with boron, chromium, nickel, and vanadium; following these recommendations increases the hardness and wear resistance of the cast iron and, consequently, extends the service life of the blades in asphalt mixers;

- the results obtained in this dissertation can be implemented in the foundries of machine-building enterprises.

The results of the study confirmed the practical and theoretical value of the developed design-experimental approach in the development of technological measures to increase the wear resistance of cast iron for castings operating under abrasive friction conditions, practical recommendations were given on the choice of alloying elements, respectively the required carbon content and carbon

equivalent to obtain wear-resistant cast iron for mixer blades operating under abrasive friction conditions, and the prospects for further development of the study were also considered.

Keywords: wear resistance of cast iron, abrasive friction, alloying, alloying elements, carbon equivalent, mechanical properties, hardness, wear resistance coefficient, impact toughness, mixer blades, induction melting, microstructure, casting, structural and phase characteristics, phase composition, chemical composition, wear-resistant structure, titanium carbides, durability of parts operating under abrasive wear conditions, wear-resistant coatings, surface hardening

*Список публікацій здобувача*

*Наукові праці, в яких опубліковано наукові результати:*

1) Kharchenko, S., Barsuk, A., Karimova, N., Nanka, A., Pelypenko, Y., Shevtsov, V., Morozov, I., Morozov, V. (2021). Mathematical model of the mechanical properties of Ti-alloyed hypoeutectic cast iron for mixer blades. EUREKA: Physics and Engineering, 3, 99–110. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001830> (Scopus)

2) Frolova, L., Barsuk, A., Nikolaiev, D. (2022). Revealing the significance of the influence of vanadium on the mechanical properties of cast iron for castings for machine-building purpose. Technology Audit and Production Reserves, 4 (1 (66)), 6–10. doi: <http://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.263428> (Scopus)

3) Barsuk, A. (2022). Optimization of the composition of cast iron for cast parts operating under abrasive friction, according to the criterion of maximum wear resistance. ScienceRise, 6, 14–20. doi: <http://doi.org/10.21303/2313-8416.2022.002775> (зарубіжне)

4) Barsuk, A. (2024). Development of the hardness mathematical model of Ti-alloyed iron for cast parts used in conditions of intensive abrasive friction. Technology Audit and Production Reserves, 3 (1 (77)), 6–9. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.301156/> (Scopus)

5) Barsuk, A., Makarenko, D., Trenov, M., Sevoian, A. (2024). Identification of regularities of the influence of titanium on the impact toughness of hypoeutectic wear-resistant cast iron and assessment of the efficiency of its additional alloying with boron. *ScienceRise*, 2, 43–51. <http://doi.org/10.21303/2313-8416.2024.003629> (зарубіжне)

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

*Опубліковані праці апробаційного характеру:*

1) Барсук А. С., Дьомін Д. О. Підвищення зносостійкості чавунних виливків для роботи в умовах абразивного тертя. XXI Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. MicroCAD-2023»

2) Барсук А. С. Вплив складу чавуну для литих деталей, що працюють в умовах абразивного тертя, на зносостійкість XIX міжнародна науково-практична конференція «ЛИТВО. Металургія. 2023», 10-12 жовтня 2023 року.

3) Барсук А. С. Визначення твердості ті-легованого чавуну для виливків з підвищеними вимогами до зносостійкості/ XXII Міжнародна науково-практична конференція «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ: НАУКА, ТЕХНІКА, ТЕХНОЛОГІЯ, ОСВІТА, ЗДОРОВ'Я. MicroCAD-2024».

4) Барсук А. С. Визначення твердості доевтектичного зносостійкого ті-легованого чавуну для деталей, що експлуатуються в умовах абразивного тертя. XX Ювілейна міжнародна науково-практична конференція «Литво 2024» XIII Міжнародної науково-практичної конференції металургія 2024, 28 – 30 травня 2024 р.

6) Барсук А. С., Дьомін Д. О. Синтез складу чавуну, легованого титаном, за критерієм максимуму коефіцієнту зносостійкості. Збірник тез XVII Міжнародної науково-технічної конференції «НЕМЕТАЛЕВІ ВКРАПЛЕННЯ І ГАЗИ У ЛИВАРНИХ СПЛАВАХ», Запоріжжя, 26-27 листопада 2024 року, с. 68–70.

7) Барсук А. С. Закономірності впливу титану на ударну в'язкість доєвтектичного зносостійкого чавуну [Електронний ресурс] / А. С. Барсук // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я = Information technologies: science, engineering, technology, education, health : тези доп. 33-ї міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2025, 14-17 травня 2025 р. / ред. Є. І. Сокол ; уклад. Г. В. Лісачук ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" [та ін.]. – Електрон. текст. дані. – Харків : НТУ "ХПІ", 2025 – С. 366. URI <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/90367>

8) Барсук А. С. Оцінка ефективності додаткового легування доєвтектичного зносостійкого чавуну бором [Електронний ресурс] / А. С. Барсук // Литво. Металургія. 2025 = Foundry. Metallurgy. 2025 : матеріали 21-ї Міжнар. наук.-практ. конф., 27-29 травня 2025 р. / Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" [та ін.] ; заг. ред. О. І. Пономаренко. – Електрон. текст. дані. – Харків; Київ, 2025. – С. 29-30. – URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/90470>

9) Барсук А. С. Систематизовані ретроспективні дані щодо показників ефективності індукційної плавки. XIX Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених» (19–21 листопада 2025 року): матеріали конференції / за ред. проф. Є.І. Сокола. – Харків : НТУ «ХПІ», 2025. – 881, с. 783-784. [https://iiii-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/dmytro\\_danylchenko\\_khpi\\_edu\\_ua1/ETq1FyBwdhtEv18YLjEYxvsBu5-ALBUC904NsdcbdSwejw?e=FPI8yk](https://iiii-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/dmytro_danylchenko_khpi_edu_ua1/ETq1FyBwdhtEv18YLjEYxvsBu5-ALBUC904NsdcbdSwejw?e=FPI8yk)

10) Барсук А.С. Хімічний склад та твердість комплексно легованого зносостійкого чавуну за даними промислових плавок. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXXIV міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2026. Харків: НТУ «ХПІ», (2026), 462. Available at: <https://zenodo.org/records/20205455>

11) Барсук А.С. Визначення можливостей забезпечення комплексних вимог по властивостям зносостійкого чавуну. *Литво. Металургія. 2026: Матеріали XXII Міжнародної науково-практичної конференції*. Харків: НТУ «ХПІ», 2026. С. 26–27.