

УДК 621.77.08

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-3-18>

## КВАЛІМЕТРИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ МЕТАЛОРІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

**Чорноіваненко Катерина Олександрівна,**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри систем якості, стандартизації та метрології  
Українського державного університету науки і технологій  
ORCID ID: 0000-0003-1613-7784

*У роботі проведено аналіз факторів, що впливають на працездатність металорізального інструменту. Показано, що вибір раціональних механічних властивостей, геометричних параметрів інструменту, зносостійких покриттів, режимів різання тощо має основний вплив на ефективність металообробки. Встановлено, що для покращення технологічних процесів механічної обробки потрібно змінити концепцію оцінки якості металорізального інструменту. Розроблено алгоритм створення методики оцінки якості металорізального інструменту на підставі проведеного аналізу та результатів експертної оцінки. У роботі побудовано алгоритм комплексної оцінки якості різального інструменту. Визначено, що для кваліметричного оцінювання якості металорізального інструменту слід застосувати комплексний показник якості, що складається з множини одиничних показників. Розроблено ієрархічну діаграму «Дерево властивостей» для визначення чинників, що впливають на загальну якість металорізального інструменту. Задля забезпечення якості металорізального інструменту пропонується використовувати вимоги стандарту ДСТУ ISO 9001 і розглядати досліджуваний процес як частину системи управління якістю організації. Пропонується з метою раціонального управління та безперервного вдосконалення процедури оцінки якості металорізального інструменту розробити документовані процедури, що супроводжуватимуть процес кваліметричного оцінювання якості металорізального інструменту.*

**Ключові слова:** металорізальний інструмент, оцінка якості, кваліметрія, дерево властивостей, показники якості.

### **Chornoivanenko Kateryna. Qualimetric assessment of the quality of metal-cutting tools**

*The paper analyzes the factors affecting on the efficiency of the metal-cutting tools. It is shown that the choice of rational mechanical properties, geometric parameters of the tool, wear-resistant coatings, cutting modes, etc. have a major impact on the efficiency of metalworking. It was established that it is necessary to change the concept of quality assessment of metal-cutting tools for improving technological processes of mechanical processing. An algorithm for creating a methodology for assessing the quality of metal-cutting tools has been developed based on the conducted analysis and the results of an expert assessment. An algorithm for comprehensive assessment of the quality of cutting tools was constructed in this work. It was determined that a complex quality indicator consisting of a set of single indicators should be applied for the qualitative assessment of the quality of metal-cutting tools. A hierarchical "Property Tree" diagram was developed to determine the factors affecting the overall quality of the metal cutting tools. It is proposed to use the requirements of the ISO 9001 standard to ensure the quality of metal-cutting tools. The investigated process should be considered as part of the organization's quality management system. It is proposed to develop documented procedures for the rational management and continuous improvement of the procedure for assessing the quality of metal-cutting tools. The developed procedures will accompany the process of qualitative assessment of the quality of the metal-cutting tool.*

**Key words:** metal cutting tools, quality assessment, qualimetry, property tree, quality indicators.

**Вступ.** Промислові підприємства, які прагнуть вийти на світові ринки з конкурентоспроможною машинобудівною продукцією, широко застосовують сучасні технології металообробки та зразки металорізального інструменту. Проте нововведення часто представляються в умовах відсутності необхідної нормативної бази. У підсумку впровадження нових технологій відбувається методом «проб та помилок», на основі якого оцінюються технічні й економічні особливості пропонованих інструментів, обладнання та технологій [4].

Металорізальний інструмент є одним із найважливіших компонентів новацій. На практиці,

бажаючи покращити конкретну технологічну операцію обробки, металургійні підприємства проводять випробування інструментів різних виробників. Ефективність металообробки буде значно вищою завдяки вибору раціональних механічних властивостей, геометричних параметрів інструменту, зносостійких покриттів, режимів різання тощо.

Забезпечення високої працездатності різального інструменту значною мірою залежить від його зносостійкості та гостроти різальної кромки [3; 6].

Відомо, що на зносостійкість різального інструменту здебільшого впливає така

характеристика, як коефіцієнт тертя [1], а на радіус округлення різальної кромки – будова (структура) інструментального матеріалу [3] і конструкція та технологія виготовлення різальної частини інструменту.

У процесі використання ріжуче лезо інструменту зношується, тупиться. На відміну від частин деталей машин (вали, кулачки та ін.), що зношуються, у металорізального інструменту працює на знос тонка смужка металу за значного питомого тиску. Щоб ця смужка металу була стійкою проти стирання, вона повинна мати високу твердість, зазвичай вищу за 60 HRC [7].

Металорізальні інструменти перебувають в експлуатації у складнонапруженому стані. Передусім вони зазнають дуже високу контактну напругу (4000 МПа і більше) і тиск на робочу кромку, необхідний для деформації і руйнування (різання) оброблюваного матеріалу.

Інструменти піддаються також дії підвищеної напруги, здебільшого вигину і крученню; максимальний момент вигину або кручення виникає переважно в ділянках, декілька віддалених від контактуючої поверхні, наприклад в основі зуба фрези, мітчика і т.ін. У деяких інструментах може, крім того, виникати напруга розтягання. За недостатньої міцності сталі або підвищення робочих навантажень, наприклад зі збільшенням подачі (переріз зрізаної стружки), ще до настання нормального зносу відбувається передчасна поломка інструменту або скрощування його біля основи робочої кромки.

Робота багатьох інструментів супроводжується ударними навантаженнями, вібрацією, що не усуваються цілком у системі «верстат – оброблювана деталь – інструмент», або створюваними умовами різання, наприклад під час кризного свердління, роботи багатолезових інструментів (фрези) тощо.

Робоча кромка інструменту відчуває теплову дію через тепло, що виділяється під час різання й тертя. Із збільшенням швидкості різання різко посилюється виділення тепла та підвищується температура робочої кромки.

Механічна енергія у процесі різання перетворюється на теплову, ріжуча кромка інструменту сильно нагрівається (до червоного розжарювання) за важких умов різання. Для такого інструменту головна вимога – збереження твердості за тривалого нагріву, тобто сталь повинна володіти теплостійкістю.

За дуже високої напруги в робочому шарі може розвиватися пластична деформація з викривленням форми та розмірів шару й посилюватися знос із втратою маси. У разі

нагрівання ці процеси протікають інтенсивніше. Тому до інструментальних сталей висуваються підвищені вимоги щодо зносостійкості й опору пластичній деформації за звичайних і підвищених температур.

Якщо робоча кромка нагрівається до дуже високих температур (понад 600...650 °С), то потрібно враховувати також вплив адгезії, що спричиняє зварювання оброблюваного матеріалу з робочою поверхнею інструменту, а отже, прискорене викрощування робочої кромки й окислення робочої поверхні, унаслідок чого знижується її твердість і зносостійкість.

Найчастіше проводять випробування сучасного інструменту з метою заміни ним інструменту, зробленого ще за радянськими ГОСТами.

Однак такі випробування інструментів відбуваються вкрай рідко через наявність кількох обмежувальних чинників. По-перше, металургійні підприємства зазнають значних витрат у зв'язку з потребою у проведенні додаткових випробувань для вибору інструментів і режимів різання. По-друге, на проведення випробувань відволікається велика кількість фахівців із боку промислового підприємства на тривалий час. По-третє, потрібна велика партія деталей для проведення випробувань.

У випадках, коли випробовується нова технологія виробництва інструменту чи необхідно покращити вже підібраний інструмент, вибір оптимального варіанта інструменту може здійснюватися більш якісно за чітко встановленими критеріями.

Однак більшість металургійних підприємств у разі проведення випробувань, отримавши позитивний результат порівняно з інструментом, що використовується, зупиняються і не проводять подальші випробування з метою визначення раціональних показників якості інструмента та розробки заходів з їх досягнення.

Для покращення технологічних процесів механічної обробки потрібно змінити концепцію оцінки якості металорізального інструменту. Якщо металургійне підприємство хоче досягти успіху у впровадженні нової технології виробництва інструменту, то воно повинне відмовитися від боротьби з конкурентами та поставити завдання щодо забезпечення максимального результату. Цього можна досягти завдяки розробці інструменту з максимальною віддачою за раціонального співвідношення його властивостей і економічного ефекту. Для цього потрібно приділяти більше уваги дослідженню технічних характеристик інструменту та взаємозв'язку між ними, а також динаміці змін технічних характеристик. Під час дослідження працездатності

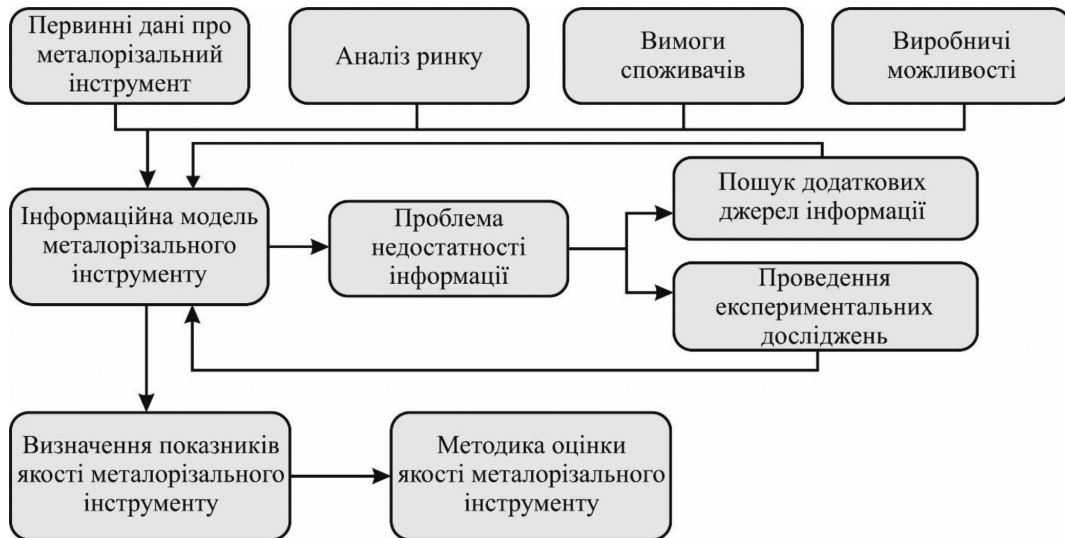


Рис. 1. Алгоритм створення методики оцінки якості металорізального інструменту

інструменту варто застосовувати прогресивні математичні моделі та методи аналізу.

**Методи та методики дослідження.** Одним із важливих етапів оцінки якості різального інструменту та процесу його експлуатації є вибір і обґрунтування методу оцінки, серед яких найбільшого поширення набули такі: диференціальний метод, метод комплексної оцінки, змішаний метод оцінки, метод інтегральної оцінки, статистичні методи оцінки, метод експертної оцінки, метод оцінки якості різнорідної продукції [6].

Відповідно до основних принципів кваліметрії для оцінки якості різального інструменту складалася ієрархічна схема всіх найбільш важливих властивостей, що характеризують процес виробництва й експлуатації інструменту [6].

За допомогою «Дерева властивостей» було здійснено графічне зображення ієрархічної структури, яка відображає складні та пов'язані з ними інші властивості або групи властивостей.

На підставі проведеного аналізу та результатів експертної оцінки розроблено алгоритм створення методики оцінки якості металорізального інструменту (рис. 1), на підставі чого було створено алгоритм комплексної оцінки якості різального інструменту (рис. 2).

**Результати та дискусії.** Оцінка якості металорізального інструменту залежить від численних взаємопов'язаних факторів, що виникають на різних етапах виробництва й експлуатації інструменту. Ми можемо визначити структури чи характер цих багатofакторних відносин завдяки систематичним спостереженням.

Для визначення чинників, що впливають на якість металорізального інструменту, було розроблено й застосовано ієрархічну діаграму – «Дерево властивостей» (рис. 3).

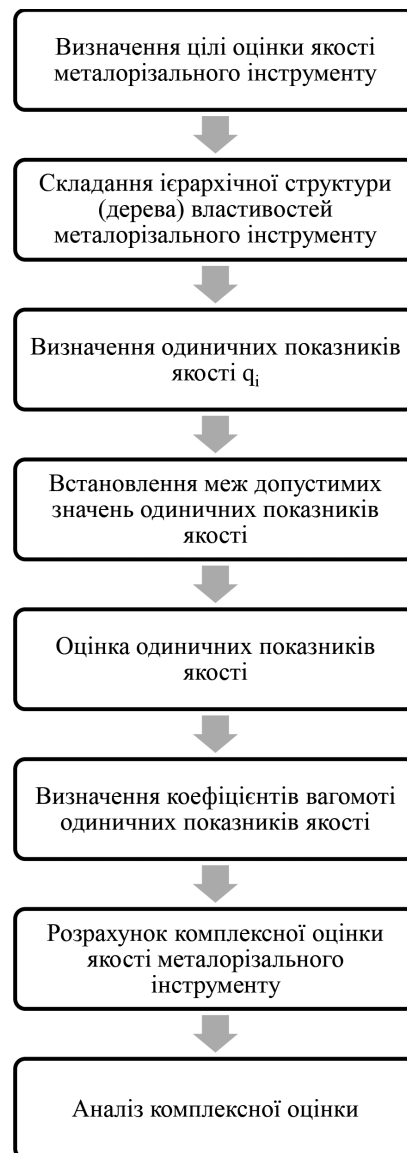


Рис. 2. Алгоритм комплексної оцінки якості металорізального інструменту



Рис. 3. «Дерево властивостей» інструменту зі швидкорізальної сталі

Треба відмітити, що властивості продуктивності й надійності тісно пов'язані між собою. Продуктивність процесу різання (продуктивність за основним часом), безвідмовність і довговічність інструменту зумовлені тими самими умовно простими властивостями: міцність і зносостійкість інструменту. Підвищення продуктивності інструменту (за інших рівних умов) призводить зазвичай до зниження його надійності.

У зв'язку із цим можливі два способи аналізу якості конструкції інструменту на стадії проектування: за продуктивністю за постійної надійності і за показниками надійності за тієї самої продуктивності. За умови дотримання вимоги операційності для аналізу якості інструменту в більшості випадків доцільно використовувати другий із них.

Деякі властивості, передбачені загальною методикою оцінки якості продукції, з метою зменшення числа врахованих властивостей можна подати як обмежувальні. Наприклад, для різальних інструментів такою обмежувальною властивістю може бути безпека, оскільки саме та конструкція інструменту, наприклад різця, що не забезпечує під час утворення зливної стружки необхідного її дроблення і створює небезпеку для здоров'я верстатника, а на деяких, наприклад важких, верстатах навіть і загрозу його життю, не може бути позитивно оцінена навіть за будь-яких інших переваг.

Серійний випуск інструменту є майже неможливим і без його патентного захисту, який також можна вважати обмежувальною властивістю.

Наведене на рис. 3 «Дерево властивостей» металорізального інструменту є узагальненим. Воно дає змогу виявити та систематизувати різні факти й умови, що впливають на комплексний показник якості металорізального інструменту, але для конкретних виробничих умов ця діаграма може набагато спроститись унаслідок різних підходів до методів управління якістю досліджуваного процесу. Провівши аналіз побудованої діаграми, можна дійти висновку, що процес оцінки якості металорізального інструменту не можна розглядати у відриві від усього виробництва. Управління якістю металорізального інструменту слід розглядати як ланку системи управління якістю організації. Так, наприклад, вихідна інформація процесу експлуатації інструменту є вхідною інформацією до таких процесів, як закупівлі продукції (аналіз якості покупного інструменту, заготовок, мастильно-охолоджувальних матеріалів тощо), процесу управління персоналом (інформація про вплив стимулювання на підвищення якості продукції, що випускається, про підвищення кваліфікації співробітників тощо).

З викладеного випливає, що задля забезпечення якості металорізального інструменту потрібне виконання безлічі вимог. У цій роботі для вирішення поставленого завдання пропонується використовувати вимоги стандарту ДСТУ EN ISO 9001 [2]. Цей стандарт є придатним для забезпечення якості будь-якого виду продукції. У його основу покладено сім сучасних принципів управління якістю.

Принцип 1. *Орієнтація на клієнта*. У нашому випадку споживачем може бути як зовнішня організація, так і внутрішній споживач, наприклад механозбірний цех, якісне виконання вимог яких є обов'язковою умовою реалізації цього процесу.

Принцип 2. *Лідерство*. У нашому випадку потрібно визначити особу, яка має виділити ресурси, нести відповідальність, визначитиме цілі в галузі якості, повинна забезпечувати вдосконалення якості досліджуваного процесу.

Принцип 3. *Залучення працівників*. Підвищення кваліфікації персоналу в питаннях забезпечення якості продукції, що випускається, є одним із факторів підвищення надійності металорізального інструменту.

Принцип 4. *Процесний підхід*. У цьому випадку розглядаємо наше завдання як систему «людина – сировина – заготовка – інструмент – деталь – процес обробки деталі» та аналізуємо її у розвитку, тобто як таку, що існує в рамках процесу та підпроцесів зі своїми входами та виходами.

Принцип 5. *Удосконалення*. Для досліджуваного процесу цей принцип є невід'ємною частиною його існування, тому що з кожним роком з'являється все більше різних видів матеріалу, принципів та методів обробки, що потребує постійного вдосконалення якості процесу виробництва й експлуатації різального інструменту.

Принцип 6. *Прийняття рішень на основі фактів*. У цьому випадку потрібно розробити комплекс документів і процедур їх аналізу

з метою застосування найбільш раціональних рішень для забезпечення та вдосконалення досліджуваного процесу.

Принцип 7. *Менеджмент взаємодії*. Для підвищення надійності інструменту потрібна не тільки його раціональна експлуатація, а й розробка більш прогресивних конструкцій інструменту, вдосконалення його ріжучої частини, дослідження в галузі застосування нових різальних матеріалів, підвищення якості заготовок тощо. Це все можна зробити в більш стислі терміни і з меншими витратами, якщо налагодити взаємовигідне співробітництво з постачальниками.

**Висновки.** Одним із напрямів забезпечення стабільності високотехнологічних процесів є підвищення якості процесу виробництва й експлуатації ріжучого інструменту.

Для кількісного та якісного аналізу різального інструменту запропоновано застосувати комплексний (узагальнений) показник якості, що складається з множини одиничних показників.

Для полегшення аналізу факторів, що впливають на властивості металорізального інструменту, доцільно використовувати розроблене «Дерево властивостей».

За результатами аналізу розробленого алгоритму оцінки якості металорізального інструменту, а також «Дерева властивостей» було встановлено, що для підвищення якості досліджуваного процесу потрібно забезпечити виконання вимог стандарту ДСТУ EN ISO 9001 і розглядати досліджуваний процес як частину системи управління якістю організації.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Внуков Ю.М., Залога В.О. Зношування і стійкість різальних лезових інструментів : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2010. 215 с.
2. ДСТУ EN ISO 9001:2018. Системи управління якістю. Вимоги. [Чинний від 2015-12-05]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 30 с.
3. Залога В.О., Гончаров В.Д., Залога О.О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2013. 187 с.
4. Кленов О.С. Новиков Ф.В., Крюк А.Г. Підвищення продуктивності та якості механічної обробки на основі застосування прогресивних різальних інструментів. *Вісник НТУ «ХПІ». збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків : НТУ «ХПІ», 2013. № 42 (1015). С. 90–95.
5. Klymenko G. P., Vasilchenko Y. V., Subotin O. V. Strategics on quality in heavy machinbulding metalworking. *Strategy of Quality in industry and Education*. 2018. Vol. 1. P. 84–89.
6. Мазур М.П., Внуков Ю.М., Доброскок В.Л., Залога В.О., Новоселов Ю.К., Якубов Ф.Я. Основи теорії різання матеріалів : підручник. Львів : Новий Світ, 2000. 211 с.
7. Fredriksson H., Brising S. The formation of carbides during solidification of high-speed steels. *Scand. J. Metallurgy*. 1976. № 5. P. 268–275.

#### REFERENCES:

1. Vnukov, Yu. M., & Zaloha, V. O. (2010). Znoshuvannia i stiikist rizalnykh lezovykh instrumentiv: navchalnyi posibnyk [Wear and durability of cutting blade tools: tutorial]. Sumy: Sumskyi derzhavnyi universytet – Sumy State University. 215 p. [in Ukrainian].

2. DSTU EN ISO 9001:2018. Systemy upravlinnia yakistiu. Vymohy [Quality management systems. Requirements]. [Chynnyi vid 2015-12-05]. Vyd. ofits. Kyiv : DP "UkrNDNTs", 2018. 30 p. [in Ukrainian].
3. Zaloha, V.O., Honcharov, V.D., & Zaloha, O.O. (2013). Suchasni instrumentalni materialy u mashynobuduvanni: navchalnyi posibnyk [Modern instrumental materials in mechanical engineering: a study guide]. Sumy: Sumskiy derzhavnyi universytet – Sumy State University. 187 p. [in Ukrainian].
4. Klenov, O.S. Novykov, F.V., & Kriuk, A.H. (2013). Povyshenye proyzvodytelnosti y kachestva mekhanycheskoi obrabotky na osnove prymerenyia prohressyvnykh rezhushchykh ynstrumentov [Increasing the productivity and quality of mechanical processing based on the use of progressive cutting tools]. *Visnyk NTU "KhPI": zbirnyk naukovykh prats. Seriya: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh – Bulletin of NTU "Khpi": collection of scientific papers. Series: New solutions in modern technologies*, 42(1015), 9095 [in Ukrainian].
5. Klymenko, G.P., Vasilchenko, Y.V., & Subotin, O.V. (2018). Strategics on quality in heavy machinbulding metalworking. *Strategy of Qalyty in industry and Education*, 1, 84–89.
6. Mazur, M.P., Vnukov, Yu.M., Dobroskok, V.L., Zaloha, V.O., Novoselov, Yu.K., Yakubov, F.Ya. (2000). *Osnovy teorii rizannia materialiv: pidruchnyk [Fundamentals of the theory of cutting materials]*. Lviv : Novyi Svit – New World. 211 p. [in Ukrainian].
7. Fredriksson, H., Brising, S. (1976). The formation of carbides during solidification of high-speed steels. *Scand. J. Metallurgy*, 5, 268–275.