

УДК 531.714:621.9

DOI 10.47049/2226-1893-2025-4-271-296

**ІНТЕГРАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ШТАНГЕНІНСТРУМЕНТІВ
У ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ
В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0-5.0**

Л.В. Пізінцалі

к.т.н., доцент,

доцент кафедри суднобудування і судноремонту ім. проф. Ю.Л. Воробйова

ORCID ID: 0000-0002-8046-0917

lvpizintsali@gmail.com

Н.І. Александровська

к.т.н., доцент,

доцент кафедри суднобудування і судноремонту ім. проф. Ю.Л. Воробйова,

доцент кафедри суднових енергетичних систем і комплексів

ORCID ID: 0000-0001-6591-2068

a.nadegda@gmail.com

О.І. Россомаха

к.т.н., доцент,

доцент кафедри навігації і керування судном,

доцент кафедри суднобудування і судноремонту ім. проф. Ю.Л. Воробйова

ORCID ID: 0000-0002-4425-2192

eirossomakha@gmail.com

О.А. Россомаха

доцент ОНМУ, начальник навчально-методичного відділу ОНМУ,

доцент кафедри суднових енергетичних систем і комплексів

ORCID ID: 0000-0002-0230-9453

roleg.post@gmail.com

С.М. Дімова

к.т.н., доцент,

доцент кафедри суднобудування і судноремонту ім. проф. Ю.Л. Воробйова

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1220-5592>,

e-mail: svetlana.dmitrenko@gmail.com

Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

Т.В. Рабоча

к.т.н., доцент,

доцент Навчально-наукового інституту логістичного забезпечення,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9475-334X>,

e-mail: 888tanyava8@gmail.com

Військова академія, Одеса, Україна

© Пізінцалі Л.В., Александровська Н.І., Россомаха О.І., Россомаха О.А.,
Дімова С.М., Рабоча Т.В., 2025

Анотація. У статті досліджено сучасні підходи до технічного контролю з використанням інтелектуалізованих штангенінструментів, які є ключовим елементом у цифрових вимірювальних системах. Представлено систематизовану класифікацію типів штангенінструментів, здійснено їх техніко-метрологічний аналіз та визначено функціональні характеристики з урахуванням вимог сучасного виробництва. Особливу увагу приділено цифровим, електронним та комп'ютеризованим штангенінструментам, сумісним з концепцією Індустрії 4.0-5.0: приладам із підтримкою передачі даних, автоматичним калібруванням, самодіагностикою та інтеграцією в хмарні та мобільні обчислювальні середовища. Розроблено авторську кореляційну модель еволюції штангенінструментів у контексті Промислових революцій, яка демонструє поступовий перехід від механічних до Smart-пристроїв. Показано, що впровадження інтелектуальних штангенінструментів сприяє підвищенню точності вимірювань, автоматизації контролю, скороченню людського чинника та створенню передумов для розгортання Smart-виробництва.

Результати дослідження можуть бути використані при розробці кіберфізичних систем контролю якості, а також у навчальному процесі технічних спеціальностей.

Ключові слова: інтелектуальні вимірювальні системи, штангенінструменти, технічний контроль, цифрові штангенциркулі, Індустрія 4.0, Індустрія 5.0, IoT, Smart-виробництво, метрологія, комп'ютеризовані вимірювачі, цифровізація виробництва, само-калібрування.

UDC 531.714:621.9

DOI 10.47049/2226-1893-2025-4-271-296

INTEGRATION OF INTELLIGENT CALIPER TOOLS INTO MEASUREMENT SYSTEMS FOR TECHNICAL CONTROL UNDER INDUSTRY 4.0-5.0 CONDITIONS

Liudmyla Pizintsali

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Shipbuilding and Ship Repair
named after Prof. Yu.L. Vorobyov
ORCID ID: 0000-0002-8046-0917

lvpizintsali@gmail.com

Nadiia Aleksandrovska

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Shipbuilding and Ship Repair
named after Prof. Yu.L. Vorobyov
Odesa National Maritime University
ORCID ID: 0000-0001-6591-2068

a.nadegda@gmail.com

Olena Rossomakha

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Associate Professor at the Department of Navigation and Control of the Ship,
Associate Professor at the Department of Shipbuilding and Ship Repair
named after Prof. Yu.L. Vorobyov
ORCID ID: 0000-0002-4425-2192

eirossomakha@gmail.com

Oleh Rossomakha

Associate Professor ONMU,
Head of the Educational and Methodical Department,
Associate Professor at the Department of Ship Power Systems And Complexes
Odesa National Maritime University
ORCID ID: 0000-0002-0230-9453
roleg.post@gmail.com

Svitlana Dimova

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Shipbuilding and Ship Repair
named after Prof. Yu.L. Vorobyov
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1220-5592>,
e-mail: svetlana.dmitrenko@gmail.com.

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine

Tatyana Rabochaya

Candidate Of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Provision of Troops (Forces),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9475-334X>,
e-mail: 888tanyava8@gmail.com.

Odesa Military Academy, Odesa, Ukraine

Abstract. *This article explores modern approaches to technical control using intelligent caliper tools as key components of digital measurement systems. A systematic classification of caliper tool types is presented, along with a comprehensive technometrological analysis and the identification of their functional characteristics in line with current industrial requirements.*

Special attention is given to digital, electronic, and computerized caliper tools compatible with the Industry 4.0–5.0 concept: devices supporting data transmission, automatic calibration, self-diagnostics, and integration into cloud-based and mobile computing environments. An original correlation model of the evolution of caliper tools in the context of Industrial Revolutions is proposed, illustrating the gradual transition from mechanical to smart devices.

It is shown that the implementation of intelligent caliper tools enhances measurement accuracy, enables automation of control processes, reduces human error, and creates prerequisites for the deployment of Smart Manufacturing. The research findings may be useful in the development of cyber-physical quality control systems, as well as in the educational process of technical specialties.

Keywords: *intelligent measurement systems, caliper tools, technical control, digital calipers, Industry 4.0, Industry 5.0, IoT, Smart Manufacturing, metrology, computerized measuring instruments, production digitalization, self-calibration.*

Вступ. Постійне вдосконалення морського й річкового флоту та підвищення його технічно-професійного рівня зумовлюють необхідність високоякісної й різнобічної підготовки інженера-судномеханіка та інженера-суднобудівника. Така підготовка має відповідати вимогам Правила III/1 Міжнародної конвенції з підготовки і дипломування моряків та несення вахти 1978 року (ПДНВ) з урахуванням Манільських поправок, а також рекомендаціям ІМО, викладеним у модельному курсі ІМО 7.04 національним стандартам вищої освіти України та професійним стандартам морської галузі – для інженерів-судномеханіків. Конвенції ІМО: SOLAS, MARPOL, Load Line, COLREG – вимоги для інженерів-суднобудівників до безпеки, живучості, протипожежного захисту та екології суден.

Особливого значення набуває виконання ремонтних робіт безпосередньо в рейсі для судномеханіка, а для суднобудівника – робіт, пов'язаних, впершу чергу, із дефектацією та ремонтом суден, а також суднобудуванням. Важливу роль у цьому відіграє глибоке знання вимірювальних засобів.

Метою практичної підготовки здобувачів вищої освіти, відповідно до зазначених вимог компетентностей, є формування системи професійних знань та вмінь вахтових механіків і суднобудівників, які можуть бути застосовані під час практичної роботи на суднах морського та річкового флоту на посадах, передбачених кваліфікаційною характеристикою спеціальності. Важливо також сформувати здатність розв'язувати типові спеціалізовані задачі, пов'язані з проектуванням, конструюванням, технологією виробництва, ремонтом, реновацією, експлуатацією, технічним обслуговуванням та утилізацією суден різних типів, морських плавучих споруд, засобів океанотехніки, судових енергетичних та електротехнічних установок, систем, пристроїв та інших об'єктів суднобудування, їх основних конструктивних елементів (відповідно до спеціалізації).

Актуальність теми. В умовах стрімкої цифрової трансформації промисловості, однією з ключових вимог до сучасного виробництва є підвищення точності, швидкості та автоматизації технічного контролю. Традиційні засоби вимірювань, зокрема штангенінструменти, поступово втрачають ефективність у нових виробничих середовищах, де головну роль відіграють Smart-технології, Інтернет речей (IoT), хмарні обчислення та кіберфізичні системи.

Інтелектуальні штангенінструменти, які поєднують класичну конструкцію з цифровими інтерфейсами, функціями самокалібрування, передачею даних та адаптацією до програмного середовища, стають важливим інструментом у вимірювальних системах нового покоління. Їх застосування дозволяє інтегрувати процеси контролю якості у єдину інформаційно-керуючу систему підприємства, підвищуючи точність рішень і знижуючи вплив людського фактора.

Особливої актуальності ця тема набуває в галузях, де вимоги до точності є критично високими – суднобудуванні, машинобудуванні, мехатроніці, мікроелектроніці, біомедичній інженерії. Впровадження цифрових та комп'ютеризованих штангенінструментів у виробничі процеси відповідає принципам Індустрії 4.0 та формує основу для переходу до людиноцентричних систем Індустрії 5.0, де інструменти взаємодіють із персоналом у гнучкому та адаптивному режимі.

Таким чином, дослідження інтеграції інтелектуальних штангенінструментів у сучасні вимірювальні системи є надзвичайно актуальним для розвитку наукоємного виробництва, підвищення ефективності інженерної діяльності та удосконалення підготовки фахівців технічного профілю.

Мета статті – дослідження можливостей інтеграції інтелектуалізованих штангенінструментів у сучасні вимірювальні системи технічного контролю, що функціонують в умовах Індустрії 4.0 та 5.0, з акцентом на цифровізацію процесів вимірювання, автоматизацію збору даних та побудову адаптивних кіберфізичних систем управління якістю у високоточному виробництві.

Аналіз останніх досліджень. В роботі [1], автори зазначають, що для вимірювання лінійних розмірів абсолютним методом та для відтворення розмірів при розмітці деталей використовують штангенінструменти, які об'єднують під цією назвою велику групу вимірювальних засобів: штангенциркулі, штангенглибиномири, штангенрейсмуси тощо. Найбільш розповсюдженим є штангенциркуль ШЦ-1, моделі якого визначаються за ДСТУ ГОСТ 166:2009 (ІСО 3599-76). Крім того, автори розглядають штангенциркуль ШЦ-ІІ та ШЦ-ІІІ, штангенглибиномір і штангенрейсмус.

Автори роботи [2] розглянули конструкцію штангенциркуля, штангенглибиноміру, штангенрейсмуса та дали завдання для виконання лабораторної роботи.

У посібнику [3] наведено мету і завдання лабораторних робіт, їх зміст та обсяг. Розглянуто організаційні питання роботи над лабораторними дослідженнями, послідовність та методика виконання, наведено вимоги щодо оформлення та процесу захисту готових робіт.

Автори вказують, що розрізняють три типи штангенциркулів: ШЦ-І з двостороннім розташуванням губок для зовнішніх і внутрішніх вимірювань та з лінійкою для визначення глибин, ШЦ-ІІ – з двостороннім розташуванням губок для вимірювання та для розмітки, ШЦ-ІІІ – з односторонніми губками для зовнішніх та внутрішніх вимірів.

У статті [4] представлені переваги сучасних цифрових засобів вимірювальної техніки у порівнянні до традиційних аналогових засобів вимірювальної техніки, які в переважній більшості експлуатуються у військах. Запропоновано основний напрямок розвитку технічної основи системи метрологічного забезпечення Збройних Сил України.

Визначені основні та додаткові критерії під час вибору цифрових засобів вимірювальної техніки при переоснащенні (заміні) парку вимірювальної техніки в галузі вимірювання електричних і радіотехнічних величин. Надані рекомендації щодо вибору перспективних цифрових засобів вимірювальної техніки на заміну втрачених (пошкоджених).

У навчальному посібнику [5] викладено матеріали зі стандартизації, керування якістю, вибору засобів, технічних вимірювань та їх метрологічного забезпечення. Розглянуті поняття про механічні засоби вимірювання довжини та штангенінструменти.

Автори практикума: навчального посібника [6] підкреслюють, що розвиток науки і промисловості стимулював розвиток вимірювальної техніки, а удосконалення вимірювальної техніки, у свою чергу, активно впливало на розвиток багатьох галузей науки і техніки. Жодне наукове дослідження чи процес виробництва не може обійтися без вимірювань, без вимірювальної інформації. Ні в кого немає сумніву відносно того, що без розвитку методів і засобів вимірювання прогрес у науці і техніці неможливий.

Впровадження нових технологій ґрунтується на нових засобах вимірювань, принципи роботи яких розроблені з урахуванням останніх наукових досягнень і відкриттів. Розвиток сучасного наукового експерименту при дослідженні космосу, елементарних частинок матерії, складних технологічних процесів і об'єктів залежить від своєчасного і якісного збору вимірювальної інформації, від необхідного рівня і випереджаючого розвитку засобів вимірювання.

Навчальний посібник [7] містить у собі такі розділи дисципліни «Виробнича технологічна практика», як зварювальні роботи і пайка, обробка матеріалів різанням на верстатах, слюсарні роботи, складальні роботи, а також приклади виконання індивідуальних завдань і оформлення звіту.

Посібник містить у собі теоретичний і практичний матеріал для докладного вивчення основних розділів виробничої технологічної практики. Автори розглядають міряльний інструмент: будову штангенциркуля, мікрометра, мікрометричного нутроміра, індикатора.

Вивчення слюсарної справи необхідне також суднобудівникам, судноремонтникам, судномеханікам, фахівцям з ремонту і обслуговування обладнання морських портів. На судноремонтних заводах (СРЗ), в ремонтних майстернях і на базах технічного обслуговування (БТО) флоту від слюсаря потрібна універсальність, так як він виконує слюсарні роботи різної складності.

Огляд праць [1-7] показує, що більшість публікацій фокусуються на описі конструкцій штангенінструментів, лабораторних методичних рекомендаціях, порівняння аналогових і цифрових вимірювачів. Проте у роботах відсутня інтеграція інструментів у концепцію промислових революцій, недостатньо розроблено методику порівняння моделей та не представлені штангенциркулі з підключенням до Smart-систем. Це визначає напрям дослідження авторів.

Основна частина. Понад 190 років штангенциркулі є найпоширенішими професійними вимірювальними приладами в суднобудуванні та судноремонті.

Офіційна назва інструменту походить від німецьких слів «Stange» (штанга, стрижень) та «Zirkel» (циркуль).

Автори нагадують, що, хоча, штангенциркуль і відноситься до групи приладів, його називають інструментом [8], оскільки він є універсальним засобом для вимірювання, що дозволяє виконувати низку завдань, на відміну від «приладу», який зазвичай передбачає більш складну конструкцію, що виконує одну або обмежену кількість функцій.

Слово «інструмент» вказує на його застосування для виконання конкретного завдання, а термін «прилад» може бути ширшим, охоплюючи різноманітні вимірювальні пристрої. Термін «прилад» часто використовується для більш

складних, специфічних пристроїв або приладів, що мають більш вузьке застосування. Однак, у контексті штангенциркуля, термін «прилад» може бути синонімом, але «інструмент» краще відображає його універсальний характер.

Штангенцикуль є інструментом завдяки своїй універсальності. Він призначений для вимірювання зовнішніх та внутрішніх розмірів, глибини отворів тощо, що робить його багатофункціональним знаряддям роботи.

Штангенінструменти є поширеними в суднобудуванні видами вимірювального інструмента, точність яких складає 0,1; 0,05; 0,02 мм.

Автори відзначають, що основне призначення штангенциркуля полягає у виконанні прецизійних вимірів, які можуть бути зроблені як усередині об'єктів, що вимірюються, так і зовні. Крім цього, він використовується для виміру глибин отворів, сходів та криволінійних елементів. Інструмент просто необхідний для вимірювання зовнішніх та внутрішніх діаметрів об'єктів опуклої та циліндричної форми, таких як болти та гайки, а також для встановлення внутрішніх характеристик каналів, заглиблень та щілин деталей суден.

Принцип роботи полягає у визначенні розміру шляхом пересування спеціальної (основної) вимірювальної рамки з ноніусом на якому нанесена шкала [9].

Автори підкреслюють, що штангенциркулі мають унікальний потенціал серед інших лінійних вимірювачів:

- «Колумбіки»* вимірюють чотири параметри деталі (зовнішні та внутрішні розміри, глибину та уступи);
- Прецизійні штангенциркулі в діапазоні 0-150 мм одночасно заміняють 6 мікрометрів;
- Подовжені штангенциркулі вимірюють розміри до 10000 мм губками до 1000 мм.

* Штангенциркулі називають «колумбіками», бо це народна назва, яка походить від прізвища першого німецького винахідника, що запатентував цей вимірювальний інструмент у середині XIX століття – Йоганна Baptista Kolumbic.

Праштангенциркулі застосовували у Китаї 1100-3400 років тому, як різновид вимірювальної лінійки з рухомою рамкою та двома губками [10; 11], (рис. 1).

Праштангенциркулі не мали спеціальних відлікових пристроїв, через що їхня похибка (з поперечними вимірювальними губками) перевищувала похибку звичайних вимірювальних лінійок.

Усі прилади, що подібні штангенциркулю мають вимірну штангу, завдяки якій пристрій придбав свою назву. На штангу нанесено основну шкалу, ціна поділки якої становить 1 мм.



Рис. 1. Бронзовий пращтангенциркуль епохи Хань

Джерело: [10]

Рухома рамка вільно пересувається по штанзі та має додаткову лінійку на яку нанесена шкала, за допомогою якої визначаються дільні частини мм. Ця лінійка зі шкалою має назву ноніус. Ціна поділки ноніуса визначає точність вимірювання. Ступінь точності вимірів штангенциркулем може досягати сотих часток міліметра.

Штангенциркулі мають губки двох видів:

- для вимірювання внутрішніх розмірів;
- для виміру зовнішніх розмірів.

Цифрові штангенциркулі влаштовані аналогічно. Однак замість ноніуса є цифрова шкала, яка підвищує ступінь зручності застосування та точність виміру. Будову цифрового штангенциркуля показано на рис. 2 [12].



Рис. 2. Будова цифрового штангенциркуля:

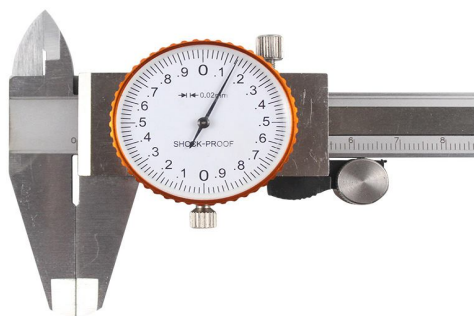
- 1 – затискний гвинт; 2 – батарейка; 3 – ролик зміни довжини; 4 – обнуління;
5 – вкл / викл; 6 – перемикач мм / дюйми

Усі цифрові штангенциркулі мають шкалу з ціною поділки 0,01 мм, з дозволеною похибкою відхилення результату виміру в меншу чи більшу сторону на 10 %.

Згідно до каталога [13], штангенциркулі класифікують за типами відлікових пристроїв (рис. 3).



а) – Штрихові ноніусні
(зі шкалою Верньєра)



б) – з круговою шкалою (індикаторні)



в) – Цифрові електронні
(з інкрементною
або фотоелектронною шкалою)



г) – Комп'ютерний
(з вбудованим мікрокомп'ютером)

Рис. 3. Класифікація штангенциркулів за типами відлікових пристроїв

Розроблено авторами на основі [13]

Чотири основні типи відлікових пристроїв (ноніусні, кругові, цифрові, електронні, комп'ютерні) відповідають основним поколінням 190-річної еволюції штангенциркулів, при цьому ми встановили високо значущу кореляцію у часі з п'ятьма Промисловими революціями (від «Industry 1.0» до «Industry 5.0»).

Таблиця 1

Кореляція поколінь штангенциркулів з Промисловими революціями

Промислова революція	Тип штангенциркуля	Ознаки Промислової революції
INDUSTRY 1.0 (1760 –1840)	Ноніусний	Перша промислова революція увійшла в історію як індустріальна революція, датована кінцем XVIII століття, що була обумовлена потребою механізації текстильного мануфактурного виробництва у Великобританії [14, с. 19]. Основною рушійною силою індустріальних змін були інновації, пов'язані з винаходом парового двигуна, що став новим джерелом енергії, яка забезпечувала роботу верстатів і давала змогу перейти на більші потужності у виробництві продукції. Основними інноваціями того періоду стали винахід та використання парових двигунів, виробництво чавуну та пов'язані з ними перші технічні, індустріальні зміни.
INDUSTRY 2.0 (1917)	Індикаторний	Друга технологічна революція датується другою половиною XIX ст. – початком XX ст. Її технологічними першоджерелами стали винахід та впровадження нового «бесмерівського» способу виплавки сталі, електрифікація як найбільш доступне та ефективне джерело енергії, відповідно, використання електричного приводу у машинобудуванні та поділ праці у виробництві. Яскравими характеристиками, ознаками її розквіту стало впровадження ліній поточного виробництва (першої конвеєрної лінії Генрі Форда), розбудова комунікацій залізничного транспорту та бурхливий розвиток хімічної промисловості [15, с. 38].

Продовження табл. 1

INDUSTRY 3.0 (1978)	Цифровий	Третя промислова революція отримала назву інформаційної. Її початок датується 1970 р., а її основу склали поява та масове впровадження інформаційних технологій, використання комп'ютерної техніки у виробничому процесі. Так, у цей період з'явилися та почали масово застосовуватися верстати, обладнання з ЧПУ, з'явилося та поширилося якісне інформаційне забезпечення логічної збутової діяльності, відбувся розвиток поліграфії та комп'ютеризації, пройшла інформатизація облікових та управлінських операцій (бухгалтерського обліку, планування, постачання, збуту продукції, ЗЕД, складського обліку тощо). Інформаційна революція поклала початок процесу автоматизації виробництва, що має значне поширення та застосування [15, с. 38].
INDUSTRY 4.0 (2015)	Комп'ютерний	Характерні риси Індустрії 4.0 – це повністю автоматизовані виробництва, на яких керівництво всіма процесами здійснюється в режимі реального часу і з урахуванням мінливих зовнішніх умов. Кіберфізичні системи створюють віртуальні копії об'єктів фізичного світу, контролюють фізичні процеси і приймають децентралізовані рішення. Вони здатні об'єднуватися в одну мережу, взаємодіяти в режимі реального часу, само налагоджуватися і самонавчатися. Важливу роль відіграють інтернет-технології, що забезпечують комунікації між персоналом та машинами. Підприємства виробляють продукцію відповідно до вимог індивідуального замовника, оптимізуючи собівартість виробництва [16, с. 121].

Продовження табл. 1

INDUSTRY 5.0 (2020)	• Комп'ютеризовані (інтелектуальні); • Цифрові з розширеними можливостями підключення • Спеціалізовані та вдосконалені конструкції	Ідея Індустрії 5.0 з'явилася як розширення Індустрії 4.0 із соціальним та екологічним вимірами. З одного боку, Індустрія 5.0 зосереджена на навичках, знаннях і вміннях працівників співпрацювати з машинами та роботами, а з іншого – на гнучкості виробничих процесів і впливі на навколишнє середовище. Оптимізація процесів за допомогою цих досягнень суттєво вплинула на значущість людини у виконанні багатьох завдань у різних галузях, що викликало значне занепокоєння та протест серед працівників. Таким чином, п'ята промислова революція має зробити галузі більш орієнтованими на майбутнє, гармонійний розвиток та людиноцентризм. Індустрія 5.0 це – співпраця людини та машини, гіперперсоналізація [16, с. 122].
------------------------	---	---

Розроблено авторами за даними [14; 15; 16]

Штангенциркулі всіх типів випускаються згідно ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 та мають відповідне маркування (рис. 4):

- 1) штангенциркуль типу ШЦ-I;
- 2) штангенциркуль типу ШЦ-II;
- 3) штангенциркуль типу ШЦ-III;
- 4) штангенциркуль типу ШЦК;
- 5) штангенциркуль типу ШЦТ-I;

Автори підкреслюють, що важливими характеристиками штангенциркулів є:

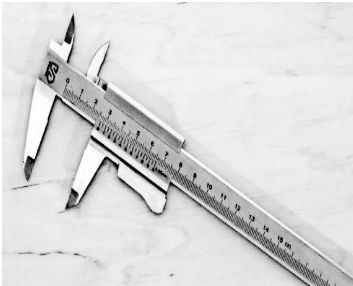
– діапазон вимірювання, який може знаходитися в межах – від 0 до 2000 мм, найбільш широке поширення отримали штангенциркулі з максимальною межею вимірювання – від 125 до 300 мм);

– значення відліку по ноніусу / циферблату / цифровому відліковому пристрої (встановлює найменшу величину, яку можна визначити штангенциркулем: ноніусні – 0,1 і 0,05 мм (вірніші іноземні інструменти можуть визначати величини до 0,02 мм, наш стандарт такої точності не передбачає); електронні – до 0,01 мм);

– похибка вимірювань (показує помилку, яку може припуститися прилад при вимірах), для ноніусних інструментів зі значенням відліку 0,1 похибка може бути від 0,05 до 0,2 мм; для циферблатних приладів зі значенням відліку 0,1

похибка має перевищувати 0,08 мм, а зі значенням відліку 0,02 і 0,05 мм – 0,04 мм; для електронних неточність становить від 0,03 до 0,07 мм. До того ж, що ширший діапазон вимірювань інструменту, то більша його похибка [12].

ШЦ-I



ШЦ-II



ШЦ-III



ШЦТ-I



ШЦК



ШЦЦ



Рис. 4. Штангенциркулі різних типів та їх маркування

Джерело: [17]

Факторами похибки вимірювань можуть бути неточність самого приладу, шорсткість поверхні вимірюваної деталі, присутність задирок, низькоякісна обробка сплаву, відхилення глибиноміру від вертикального положення, нещільне притискання губок до об'єкта і низька фіксація каретки гвинтом.

Для суднового механіка, суднобудівника передусім потрібно знати похибки самих вимірювальних інструментів.

Граничні похибки вимірювань залежно від інтервалів інструментів, їх призначення та точності вимірювання наведено в табл. 1 [18].

Таблиця 1

Граничні похибки вимірювань залежно від інтервалів інструментів

Інструмент (точність відліку, мм)	Граничні похибки вимірювань, мм, при інтервалах вимірювання (мм)							
	1-10	10-50	50- 80	80-120	120-180	180-260	260-360	360-500
Штангенциркуль								
Штангенциркуль (0,02) при вимірюванні розмірів:								
– зовнішніх	0,04	0,04	0,045	0,045	0,045	0,05	0,06	0,07
– внутрішніх	–	0,05	0,06	0,06	0,065	0,07	0,08	0,09
Штангенциркуль (0,05) при вимірюванні розмірів:								
– зовнішніх	0,08	0,08	0,09	0,1	0,1	0,1	0,11	0,11
– внутрішніх	–	0,1	0,13	0,13	0,15	0,15	0,15	0,15
Штангенциркуль (0,1) при вимірюванні розмірів:								
– зовнішніх	0,15	0,15	0,16	0,17	0,19	0,2	0,21	0,23
– внутрішніх	–	0,2	0,23	0,26	0,28	0,3	0,3	0,3
Штангенглибиномір								
Штангенглибиномір (0,02)	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	–
Штангенглибиномір (0,05)	0,1	0,1	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Штангенглибиномір (0,1)	0,2	0,25	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

З таблиці видно, що значення граничних похибок при вимірі штангенінструментами перевищують величини відліку в 1,5-3 рази.

Щоб уникнути грубих помилок, необхідно стежити за тим, щоб на поверхнях штангенінструментів не було вибоїн, подряпин, слідів корозії, які можуть вплинути на точність вимірювання. Рамка з ноніусом повинна легко пересуватися по штанзі; мертвий хід мікрометричного гвинта не повинен перевищувати 1/3 його обороту для нових та відремонтованих інструментів або 1/2 обороту для тих, що перебувають в експлуатації. Точне значення мертвого ходу визначається візуально, шляхом порівняння його з еталонними зразками.

При зсуві губок штангенциркуля нульові штрихи шкал ноніуса і штанги повинні збігатися, а між вимірювальними поверхнями губок не повинно бути просвіту.

Штангенциркулі випускаються серійно протягом року, а не одинично, тому не існує окремої категорії штангенциркулів, що випускаються, наприклад, у 2024 році або 2025 році. Вибір залежить від потреб, але в рейтингах 2025 року серед популярних моделей що вказані в таблиці 2.

Таблиця 2

Популярні штангенциркулі

Asimeto 307-58-2 Китай (Гуанчжоу), електронний [19]	
	• Діапазон вимірів 0-150 мм; • Точність вимірів: 0,0005 дюйма / 0,01 мм. • Штангенциркуль буде готовий до вимірювань одразу після його ввімкнення, а на РК-екрані відображатиметься фактичне положення повзунка. Немає потреби щоразу встановлювати нульове положення. Початкове налаштування зберігається навіть після вимкнення штангенциркуля. • Абсолютна система забезпечує надійне вимірювання • Перетворення дюймів/метричних одиниць • Для зручного використання передбачено коліщатко для великого пальця
Штангенциркуль електронний, 0-200 мм, INSIZE 1108-200 Китай [20]	
	• Діапазон вимірів 0-200 мм 0-8 дюймів; • точність вимірів: 0,01 мм .0005", • виготовлений із нержавіючої сталі; • корпус ел/блоку виготовлений з якісного ABS пластику; • кнопки: нуль, вкл/вимк, дюйм/мм; • роз'єм виведення даних, мікро USB; • батарея CR2032; • сертифікат інспекції виробника, відповідний NIST USA, DKD Німеччина; • діапазон робочих температур: від 0° до 40° C; • у комплекті пластиковий кейс з PUR ложементом для зберігання, • Вироблено компанією INSIZE.

Продовження табл. 2

Штангенциркуль цифровий ADA Mechanic 150 Pro [21]	
	Використовується для проведення як зовнішніх, так і внутрішніх вимірів різних виробів або заготовок. Вимірювання виконуються з високою точністю ± 0.03 мм. Результати відображаються на РК-дисплеї з точністю до тисячних. Натисканням кнопки можна перевести міліметри на дюйми. Результати вимірювання відображаються на РК екрані великими цифрами. У будь-якому положенні рухомої рамки можна обнулити значення та почати виміри від цього положення. Наприклад, при визначенні різниці між діаметрами двох деталей. Увімкнення штангенциркуля відбувається автоматично при зсуві рамки. Рухлива рамка має спеціальне коліщатко для точної установки та гвинтовий фіксатор. ADA Mechanic 150 Pro повністю виготовлений із нержавіючої сталі. Цифровий штангенциркуль ADA Mechanic 150 Pro точний та якісний ручний вимірювальний
Механічний штангенциркуль Jonnesway MTC1150 (НОНІУСНИЙ) [22]	
	Механічний штангенциркуль Jonnesway MTC1150 - універсальний інструмент, високої точності, для проведення замірів довжин деталей, внутрішніх і зовнішніх розмірів отворів, глибин, міжосьових відстаней, і товщини стін. Дана модель має I клас точності, з точністю вимірювання 0,02 мм. Довжина шкали становить 150 мм з метричною системою вимірювання, сам корпус виконаний у формі лінійки, на нижній частині якої нанесена шкала ноніуса для уточнення результату виміру. Конструкція включає три вимірювальних контролера: дві пари губ для визначення зовнішніх і внутрішніх розмірів, і глибиномір, для вимірювання глибини отвору. Штангенциркуль виконаний з міцного нержавіючої сталі, яка вбереже корпус від подряпин і затирання. Модель MTC1150 має рухливу раму яка рухається вздовж лінійки і стопорним гвинтом для фіксації, що дозволяє точно зняти розмір і перенести його на іншу поверхню. За рахунок компактною довжини 240 мм і не велику вагу 0,29 кг, добре сидить в руці і при тривалому вимірі не обтяжує руку.

Продовження табл. 2

Штангенциркуль електронний Vorel 150 мм [23]	
	Електронний штангенциркуль з великим і чітким дисплеєм від VOREL характеризується твердою конструкцією з матеріалу, армованого вуглецевим волокном; забезпечений цифровою індикацією для підвищення точності зчитування, результат вказується в міліметрах або дюймах; верхні губки виконують внутрішні вимірювання, а нижні - зовнішні, виконані з міцного металу; автоматичне відключення через 5 хвилин бездіяльності; живлення від батареї sr44 / lr44 1,5 В або cr2032 3 В.

Перспективи розвитку моделей штангенциркулів включають подальшу інтеграцію цифрових технологій, підвищення точності вимірювань та розробку «розумних» інструментів з можливістю передачі даних.

Автори згодні з [4; 16], що майбутнє штангенциркулів пов'язане з переходом від простих ручних інструментів до високотехнологічних, інтегрованих у виробничі процеси вимірювальних систем, які забезпечують більшу точність та ефективність.

Штангенциркулі майбутнього еволюціонують від простих вимірювальних інструментів до високоінтегрованих «розумних» пристроїв, що відповідають вимогам **Індустрії 4.0** та **Індустрії 5.0**.

Основні типи та інновації майбутніх штангенциркулів:

1. Комп'ютеризовані (інтелектуальні) штангенциркулі

Це найбільш просунутий тип, який вже серійно виробляється деякими компаніями з 2016 року. Вони оснащені інтегрованим мікрокомп'ютером і мають такі функції:

- **Двосторонній обмін інформацією:** можливість інтеграції з виробничими системами, серверами, ПК та смартфонами.
- **Автоматичний режим роботи:** математична обробка результатів вимірювань, ведення журналів та архівування даних.
- **Адаптивний моніторинг стану:** компенсація температурного розширення деталі, математична компенсація похибки в діапазоні вимірювання та самокалібрування.

2. Цифрові штангенциркулі з розширеними можливостями підключення

Ці моделі стають стандартом і мають вдосконалені функції, спрямовані на підвищення ефективності робочих процесів:

- **Бездротове підключення (Bluetooth, Wi-Fi):** для миттєвої передачі даних вимірювань на інші пристрої (ноутбуки, смартфони) та інтеграції в програмне забезпечення для аналізу.

- **Інтеграція з Інтернетом речей (IoT):** дозволяє об'єднувати дані з різних вимірювальних приладів в єдину мережу для комплексного моніторингу та аналізу виробничих процесів.

3. Спеціалізовані та вдосконалені конструкції

Окрім інтеграції електроніки, розвиваються й інші аспекти:

- **Підвищена надійність та захист:** водонепроникні та пилозахищені конструкції з високими IP-рейтингами, що дозволяє використовувати інструменти в складних умовах (наприклад, у вологих або запилених виробничих середовищах).

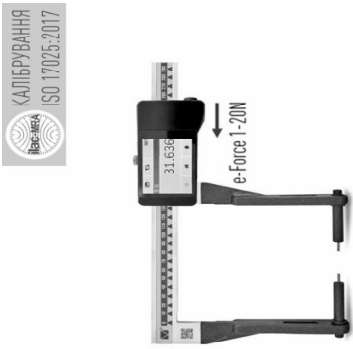
- **Ергономічний дизайн:** нові конструкції приділяють більше уваги комфорту використання для зменшення втоми оператора під час тривалої роботи.

- **Нові матеріали:** використання інноваційних матеріалів, таких як алюмінієві або композитні сплави, для зменшення ваги без шкоди для міцності та точності.

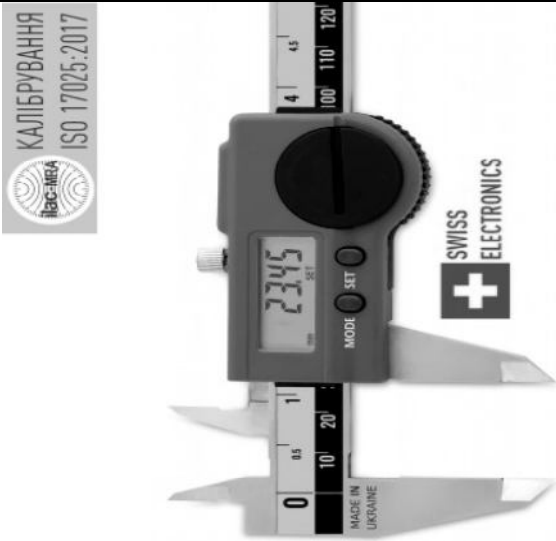
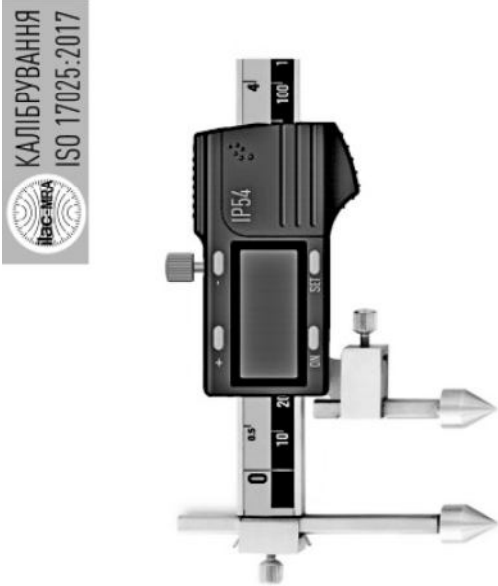
На думку авторів, варто звернути увагу на штангенциркулі заводу «Мікротех» (Україна). Завод не має офіційного загальнодоступного рейтингу своїх штангенциркулів, але їхні продукти (таблиця 3), зокрема цифрові моделі з високим ступенем захисту, часто відзначаються за **якість та надійність** у професійному середовищі та, на думку авторів відповідають вимогам **Індустрії 4.0** та **Індустрії 5.0**.

Таблиця 3

Штангенциркулі, що відповідають вимогами Індустрії 4.0 та Індустрії 5.0

Комп'ютеризовані (інтелектуальні) штангенциркулі	
Штангенциркуль ШЦКНК-1000/300 мікронний комп'ютеризований для зовнішніх вимірювань [24]	
	Діапазон виміру 0-1000 мм; оснащені модулем контролю сили, що дає можливість постійно проводити вимірювання з однією і тією самою силою (8 Н), що підвищує точність штангенциркуля до 5 мікрон. • Для зовнішнього виміру з цифровою або бездротовою, або комп'ютеризованою системою індикації MICS з роздільною здатністю 1,54 дюйми; • БЕЗКОШТОВНА версія програмного забезпечення для ПК з Windows, Android, планшетів та смартфонів iOS.

Продовження табл. 3

Штангенциркуль цифровий ШЦЦ-I [25]	
	Штангенциркуль з цифровим відліковим пристроєм тип ШЦЦ-150-0,01-IP67 з дискретністю 0,01 мм у вологостійкому виконанні підходить для зовнішніх, внутрішніх вимірювань і вимірювань глибини. Комплектується високоякісною швейцарською електронікою з дискретністю 0,01 мм, з функціями меню, переустановлення значення, передачі даних, переведення мм/дюйми і обнуління, попередня установка значення.
Штангенциркуль для вимірювання міжцентрових відстаней [26]	
	Діапазоном до 500 мм та дискретністю 0,01 або 0,005 мм. Штангенциркулі ШЦЦМ для вимірювання міжцентрових відстаней призначені для вимірювання відстаней між центрами отворів і валів у важкодоступних місцях. У штангенциркуля ШЦЦМ для вимірювання міжцентрових відстаней індикація результату вимірювання здійснюється на вимірювальній рамці / ноніуса. Штангенциркулі ЦЦМ для вимірювання міжцентральної відстані виготовляються з нержавіючої сталі, вимірювальні поверхні губок загартовані. Мають цифровий порт для передачі даних на ПК.

Продовження табл. 3

Штангенциркуль універсальний [27]	
	Штангенциркуль універсальний з цифровим відліковим пристроєм ШЦЦУ призначений для вимірювань глибини канавок, розташованих на зовнішніх, внутрішніх поверхнях і для вимірювання міжцентрової відстані між однаковими отворами, розташованими в одній площині з різницею діаметрів не більше 1 мм. Ці штангенциркулі діапазоном до 500 мм та дискретністю 0,01 або 0,005 мм.

На думку авторів, особливим штангенциркулем є цифровий штангенциркуль лімітованої серії «РАЗОМ ДО ПЕРЕМОГИ» – це спеціальна серія вимірювальних інструментів від харківського виробника МІКРОТЕХ (рис. 5).



Рис. 5. Цифровий штангенциркуль лімітованої серії «РАЗОМ ДО ПЕРЕМОГИ»

Джерело: [28]

Штангенциркуль має такі основні характеристики та особливості:

- **Діапазон вимірювань:** 150 мм (або 6 дюймів).
- **Дискретність (роздільна здатність):** 0,01 мм.
- **Електроніка:** Використовується швейцарська електроніка (Swiss electronic).
- **Клас захисту:** IP67 (повний захист від пилу та короткочасного занурення у воду).
- **Серія:** Лімітована серія, випущено лише 300 одиниць.

Оцінка енергоефективності та ергономіки штангенінструментів

У сучасному виробництві важливо не лише забезпечити точність вимірювання, а й зменшити фізичне навантаження на оператора та підвищити тривалість ефективної роботи. З цією метою активно впроваджуються нові матеріали та ергономічні рішення у конструкцію штангенінструментів.

Сучасні штангенциркулі виготовляються з карбонових композитів, анодованого алюмінію, нержавіючої сталі з титановими покриттями, що дозволяє:

- значно зменшити вагу інструменту без втрати жорсткості;
- зменшити провідність тепла, що критично для точності вимірювань (особливо при зміні температури середовища);
- забезпечити антикорозійний захист, підвищуючи довговічність пристрою;
- покращити екологічну стійкість виробу завдяки безпечним матеріалам та можливості вторинної переробки.

Ергономічний дизайн. Нові моделі оснащуються:

- прогумованими вставками для зручного захвату;
- коліщатами тонкого регулювання, що знижують навантаження на м'язи пальців;
- великоформатними дисплеями з контрастним підсвічуванням для зменшення зорового навантаження;
- автоматичним вимиканням та сенсорами руху, що підвищують енергоефективність та продовжують термін служби батарей;
- інтуїтивним управлінням однією рукою, що особливо важливо для слюсарів, механіків, токарів у процесі роботи з великогабаритними деталями.

Енергоспоживання та екологія. Інтелектуальні штангенінструменти нового покоління використовують:

- батареї з низьким рівнем споживання енергії (наприклад, CR2032);
- енергозберігаючі дисплеї (e-ink, OLED);
- функції енергозбереження, що дозволяють працювати без заміни живлення до 12 місяців.

Висновки

1. Штангенциркуль є базовим, універсальним і одним із найпоширеніших вимірювальних інструментів у технічних галузях завдяки простоті конструкції, точності та здатності виконувати як зовнішні, так і внутрішні вимірювання.

2. Для фахівців суднобудівної галузі – суднобудівників, судномеханіків, інженерів – володіння навичками точного вимірювання штангенциркулем є критично важливим. Це дозволяє забезпечити якісний технічний контроль, вчасне виявлення зношування деталей та запобігання аваріям.

3. Аналіз тенденцій зміни розмірних параметрів деталей, отриманих за допомогою штангенінструментів, дозволяє впроваджувати профілактичне технічне обслуговування, знижувати ризики поломок і підвищувати надійність функціонування обладнання.

4. Порівняльний аналіз показав, що серед сучасних моделей найбільш затребуваними є цифрові штангенциркулі, які поєднують точність, зручність використання, швидке зчитування результатів та можливість інтеграції з електронними системами обліку даних.

5. Побудована авторська кореляційна модель узгодження типів штангенінструментів із етапами промислових революцій дозволяє трактувати дані прилади як ключові елементи кіберфізичних систем технічного контролю.

6. Проаналізовано вплив нових конструкційних матеріалів і ергономічного дизайну на підвищення енергоефективності, зменшення фізичного навантаження оператора та покращення експлуатаційних характеристик вимірювальних інструментів.

7. Визначено перспективи розвитку інтелектуальних штангенінструментів у контексті мініатюризації, впровадження функцій самокалібрування, розширення можливостей IoT-зв'язку та інтеграції з мобільними та хмарними платформами.

8. Таким чином, цифрові та інтелектуальні штангенінструменти виступають не лише засобом вимірювання, а й важливим інструментом управління технічним станом об'єктів у суднобудуванні, машинобудуванні та інших критичних галузях промисловості.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Метрологія: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів приладобудівного факультету спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка / уклад. М.В. Філіппова, О.В. Волошко, С.С. Заєць. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 49 с.
2. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Вимірювання лінійних розмірів деталей штангенінструментом» з дисципліни «Обладнання, оснащення та інструмент» для студентів спеціальності 136 «Металургія» всіх форм навчання / уклад. В.М. Сажнів, О.В. Олексієнко. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. 12 с.
3. Метрологія та стандартизація [Електронний ресурс] : лаб. практикум : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Комп'ютерно інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спец. 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка / уклад. І.О. Васильковська, М.В. Філіппова.. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 46 с. Режим доступу: файл PDF.

4. Борисенко М.В., Тішкін В.В., Кравченко І.І., Задорожна А.Ю. Розробка рекомендацій щодо відновлення (заміни) втраченої вимірювальної техніки на вітчизняні та закордонні аналоги // 36. наук. праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2023. № 4(78). С. 81-86.
5. Взаємозамінність, стандартизація та метрологічне забезпечення технічних вимірювань: навч. посіб. для вищих навч. закладів / Л.І. Івченко, В.В. Петрикін, С.І. Дядя, Б.М. Левченко; за ред. Л.І. Івченка. Запоріжжя: Вид. комплекс ВАТ «Мотор Січ», 2010. 451 с.
6. Пізінцалі Л.В., Александровська Н.І., Добровольський В.В. Метрологія, стандартизація, системи якості: практикум : навч. посібник / за ред. Л.В. Пізінцалі. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2025. 264 с.
7. Журавльов Ю.І., Богач В.М., Дуранов О.П. Виробничі процеси у судноремонті: навч. посіб. Одеса: НУ «ОМА», 2023. 185 с.
8. Засоби для вимірювання та контролю лінійних розмірів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00034956_0.html
9. Штангенциркуль // Wikipedia [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Штангенциркуль>
10. The Origin of Evolution of Caliper. – Mitutoyo, 2012. – E12029. – 38 p.
11. All things Chinese [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.viewofchina.com/household-inventions>
12. Штангенінструменти. Будова і правила користування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://buklib.net/books>
13. Каталог продукції МІКРОТЕХ. – 2020. – 57 с.
14. Матющенко І. Розробка і впровадження конвергентних технологій в Україні в умовах нової промислової революції: організація державної підтримки : монографія. Харків: Александра К. М., 2016. 556 с.
15. Кириченко О.С. Промислові революції та теоретичне узагальнення тенденцій розвитку // Вісник ОНУ ім. Мечникова. 2019. Т. 24. № 3(76). С. 37-40.
16. Зубкова А., Майгурова Д., Місюня Р. Управління проєктами цифрової трансформації міжнародних підприємств: ключові відмінності Індустрії 4.0 та 5.0 // Modeling the Development of the Economic Systems. 2023. № 2. С. 120-130. – DOI: <https://doi.org/10.31891/mdes/2023-8-16>.
17. ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Технічні вимоги до GPS. Частина 1. Штангенциркуль. Київ: Мінекономрозвитку України, 2018. 33 с.
18. Точність застосовуваних інструментів та способи // Судноремонт від А до Я [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sudoremont.blogspot.com>
19. Штангенциркуль електронний 0-150 мм Asimeto 307-58-2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.aliexpress.com/p/tesla-landing/index.html>

20. Штангенциркуль електронний 0-200 мм INSIZE 1108-200 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://prom.ua/p2028687418-shtangentsirkul-200-insize.html>
21. Штангенциркуль цифровий ADA Mechanic 150 Pro (A00380) [Електронний ресурс] // Tokarev.in.ua – Режим доступу: <https://tokarev.in.ua/catalog>
22. Штангенциркуль механічний Jonnesway 150 мм (MTC1150) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kulibin.com.ua/ua/catalog/shtangentsirkuli/jonnesway-mtc1150/>
23. Штангенциркуль електронний Vorel 150 мм [Електронний ресурс] // WorldOfTools. Режим доступу: <https://worldoftools.com.ua>
24. Штангенциркуль ШЦКНК-1000/300 мікронний комп'ютеризований для зовнішніх вимірювань [Електронний ресурс].Режим доступу:<https://microtech-ua.com>
25. Штангенциркуль цифрові ШЦЦ-I [Електронний ресурс].Режим доступу: <https://microtech-ua.com>
26. Штангенциркуль для вимірювання міжцентрових відстаней [Електронний ресурс].Режим доступу: <https://microtech-ua.com>
27. Штангенциркуль універсальний ШЦЦУ [Електронний ресурс] // microtech-ua.com. Режим доступу: <https://microtech-ua.com>
28. Цифровий штангенциркуль (лімітована серія) «РАЗОМ ДО ПЕРЕМОГИ» [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://microtech-ua.com/index.php?id_product=11773 &controller=product&id_lang=2

REFERENCES

1. Filipova, M.V., Voloshko, O.V., & Zaiets, S.S. (2017). *Metrologiia: metodychni vkazivky do vykonannia laboratornykh robot dlia studentiv pryladobudivnoho fakultetu spetsialnosti 152 «Metrologiia ta informatsiino-vymiriuvalna tekhnika»* [Metrology: Methodological instructions for laboratory work for students of specialty 152 Metrology and information-measuring technology]. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho. 49 p.
2. Sazhniiov, V.M., & Oleksiienko, O.V. (2020). *Metodychni vkazivky do laboratornoi roboty «Vymiriuvannia liniinykh rozmiriv detalei shtanheninstrumentom»* [Methodical instructions for laboratory work «Measurement of linear dimensions of parts with a caliper»]. Zaporizhzhia: NU «Zaporizka politekhnika». 12 p.
3. Vasylykovska, I.O., & Filipova, M.V. (2024). *Metrologiia ta standartyzatsiia: laboratornyi praktykum* [Metrology and Standardization: Laboratory Practicum]. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho. 46 p. PDF.

4. Borysenko, M.V., Tishkin, V.V., Kravchenko, I.I., & Zadorozhna, A.Yu. (2023). Development of recommendations for restoration and replacement of lost measuring equipment with domestic and foreign analogues. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl*, 4(78), P. 81-86.
5. Ivshchenko, L.I., Petrykin, V.V., Diadia, S.I., & Levchenko, B.M. (2010). *Vzaiemozamaniist, standartyzatsiia ta metrolohichne zabezpechennia tekhnichnykh vymiriuvan* [Interchangeability, standardization and metrological support of technical measurements]. Zaporizhzhia: Vyd. kompleks VAT «Motor Sich». 451 p.
6. Pizintsali, L.V., Aleksandrovska, N.I., & Dobrovolskyi, V.V. (2025). *Metrologiia, standartyzatsiia, systemy yakosti: praktykum* [Metrology, standardization, quality systems]. Kherson: OLDI-PLUS. 264 p.
7. Zhuravlov, Yu.I., Bohach, V.M., & Duranov, O.P. (2023). *Vyrobnychi protsesy u sudnoremonti* [Production processes in ship repair]. Odesa: NU «OMA». 185 p.
8. *Zasoby dlia vymiriuvannia ta kontroliu liniinykh rozmiriv* [Means for measuring and controlling linear dimensions]. Retrieved from https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00034956_0.html
9. *Caliper* [Wikipedia]. Retrieved from <https://uk.wikipedia.org/wiki/Штангенциркуль>
10. Mitutoyo. (2012). *The Origin of Evolution of Caliper*. E12029. 38 p.
11. *All Things Chinese*. Retrieved from <https://www.viewofchina.com/household-inventions/>
12. *Shtanheninstrumenty. Budova i pravyla korystuvannia* [Calipers: construction and rules of use]. Retrieved from <https://buklib.net/books>
13. *Katalog produktii MIKROTEKH* [MIKROTECH Product Catalogue] (2020). 57 p.
14. Matiushchenko, I. (2016). *Rozrobka i vprovadzhennia konverhentnykh tekhnolohii v Ukraini v umovakh novoï promyslovoi revoliutsii* [Development and implementation of convergent technologies during the industrial revolution]. Kharkiv: Aleksandrova K.M. 556 p.
15. Kyrychenko, O.S. (2019). Industrial revolutions and trends of technological development. *Visnyk ONU im. Mechnykova*, 24(3(76)), P. 37-40.
16. Zubkova, A., Maihurova, D., & Misiunia, R. (2023). Management of digital transformation projects: key differences between Industry 4.0 and 5.0. *Modeling the Development of the Economic Systems*, 2, P. 120-130. <https://doi.org/10.31891/mdes/2023-8-16>
17. *DSTU EN ISO 13385-1:2018. Tekhnichni vymohy do GPS. Chastyna 1. Shtanhenetsyrkuli* [Calipers. Design and metrological characteristics]. Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrainy. 33 p.
18. *Tochnist zastosovuvanykh instrumentiv ta sposoby* [Accuracy of tools]. Sudnoremont vid A do Ya. Retrieved from <https://sudoremont.blogspot.com>

19. *Shtanhenetsyrkul elektronnyi 0–150 mm Asimeto 307-58-2* [Electronic caliper]. Retrieved from <https://www.aliexpress.com/p/tesla-landing/index.html>
20. *Shtanhenetsyrkul 0–200 mm INSIZE 1108-200* [Electronic caliper]. Retrieved from <https://prom.ua/p2028687418-shtangentsirkul-200-insize.html>
21. *Shtanhenetsyrkul ADA Mechanic 150 Pro (A00380)* [Digital caliper]. Tokarev.in.ua. Retrieved from <https://tokarev.in.ua/catalog>
22. *Jonnesway MTC1150 Mechanical Caliper 150 mm* [Digital source]. Retrieved from <https://kulibin.com.ua/ua/catalog/shtangentsirkuli/jonnesway-mtc1150/>
23. *Vorel 150 mm Electronic Caliper*. WorldOfTools. Retrieved from <https://worldoftools.com.ua>
24. *Shtanhenetsyrkul SHCKNK-1000/300 Mykronnyi Kompiuteryzovanyi* [Electronic caliper]. Retrieved from <https://microtech-ua.com>
25. *ShCC-I Digital Calipers*. Retrieved from <https://microtech-ua.com>
26. *Center Distance Measuring Digital Caliper*. Retrieved from <https://microtech-ua.com>
27. *Universal Digital Caliper ShCCU*. Retrieved from <https://microtech-ua.com>
28. *Digital Caliper Limited Edition «RAZOM DO PEREMOGY»*. Retrieved from https://microtech-ua.com/index.php?id_product=11773&controller=product&id_lang=2

Стаття надійшла до редакції 05.11.2025

Посилання на статтю: Пізінцалі Л.В., Александровська Н.І., Россомаха О.І., Россомаха О.А., Дімова С.М., Рабоча Т.В. Інтеграція інтелектуальних штангенінструментів у вимірювальні системи технічного контролю в умовах індустрії 4.0-5.0// *Вісник Одеського національного морського університету*: Зб. наук. праць, 2025. № 4 (78). С. 291-296. DOI 10.47049/2226-1893-2025-4-291-296.

Article received 05.11.2025

Reference a Journal Article: Pizintsali L., Aleksandrovska N., Rossomakha O., Rossomakha O., Dimova S., Rabochaya T. Integration of intelligent caliper tools into measurement systems for technical control under industry 4.0-5.0 conditions / *Herald of Odesa National Maritime University*. Coll. scient. works. 2025, № 4 (78). P. 291-296. DOI 10.47049/2226-1893-2025-4-291-296.