

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА CIVIL SAFETY

UDC 331.101.1

Vitaliy Tsopa¹, Doctor of Technical Sciences, Professor

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4811-3712> *e-mail*: dr.tsopav@gmail.com

Oleg Kruzhilko², Doctor of Technical Sciences, senior researcher

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8624-1515> *e-mail*: olkruzhilko@ukr.net

Serhii Cheberiachko³, Doctor of Technical Sciences, Professor

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5866-4393> *e-mail*: cheberiachkoyi@ukr.net

Oleg Deryugin³, Candidate of Technical Science, Associate Professor

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2456-7664> *e-mail*: deryugin_o@ukr.net

Tetiana Nehrii⁴, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4239-3178> *e-mail*: tetiana.nehrii@gmail.com

¹International Management Institute, Kyiv, Ukraine

²Technical University «Metinvest polytechnic», Zaporizhzhia, Ukraine

³Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

⁴Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR EVALUATING THE COMPREHENSIVE ERGONOMIC INDICATOR OF HAND TOOLS

Abstract. *Objective: development of an algorithm for evaluating the comprehensive ergonomic indicator of hand tools to reduce physical strain during their use.*

Materials and Methods. The algorithm development utilized the nomenclature of ergonomic indicators specified in DSTU 7895:2015 "Design and Ergonomics. Rules for evaluating the ergonomic level of quality of industrial products," which is categorized into two levels. The first level includes usability, control and monitoring convenience, product planning, serviceability, product hygiene, and safety. The second level involves physical and mental workload, fatigue, and compliance with anthropometric parameters.

Results. An algorithm for evaluating the comprehensive ergonomic indicator of hand tools has been developed, consisting of five steps: compiling a list of ergonomic characteristics of hand tools according to production tasks, selecting a group of five or more experts, conducting preliminary assessment of the product's comprehensive ergonomic indicator, analyzing expert assessments, discussing strengths and weaknesses, construction, and making decisions regarding the choice of weight coefficients, verifying the obtained results, and developing recommendations for application conditions for a specific product. The distinctive feature of the proposed algorithm lies in establishing weight coefficients of the tool's characteristics considering safety, convenience, and working conditions. The results of evaluating the comprehensive ergonomic indicator of angle grinders are

presented, allowing for the effectiveness of the developed algorithm based on feedback from study participants and providing recommendations for its further improvement.

The novelty lies in establishing correlations between two levels of ergonomic indicators through weight coefficients, allowing for the consideration of the complexity of working conditions, safety, and convenience of hand tools.

Practical value: checklists for processing score assessments based on established ergonomic criteria have been developed.

Keywords: hand tools; ergonomics; check-list; algorithm.

В.А. Цопа¹, О.Є. Кружилко², С.І. Чеберячко³, О.В. Дерюгін³, Т.О. Негрій⁴

¹Міжнародний інститут менеджменту, м. Київ, Україна

²ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка», м. Запоріжжя, Україна

³Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна

⁴Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ОЦІНЮВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗНИКА ЕРГОНОМІЧНОСТІ РУЧНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Анотація. Мета роботи – розробка алгоритму оцінювання комплексного ергономічного показника ручного інструменту, що дозволить зменшити фізичне навантаження при його використанні.

Матеріали і методи. Для розробки алгоритму була використана зазначена в ДСТУ 7895:2015 «Дизайн і ергономіка. Правила оцінювання ергономічного рівня якості промислової продукції» номенклатура ергономічних показників, які розподіляються на два рівні: перший включає зручність використання, керування, контролю та обслуговування, спланованість виробу, гігієнічність виробу і безпечність; другий – фізичне, психічне навантаження, стомлюваність та відповідність антропометричним параметрам.

Результати. Розроблено алгоритм оцінювання комплексного ергономічного показника ручного інструменту, що складається з п'яти кроків: складання переліку ергономічних характеристик ручного інструменту у відповідності до виробничих задач, підбір групи експертів з п'яти і більше фахівців, проведення попереднього оцінювання комплексного ергономічного показника виробу, аналіз отриманих оцінок експертами, обговорення сильних і слабких сторін, конструкції та прийняття рішення щодо вибору вагових коефіцієнтів, перевірка отриманих результатів, розробка рекомендацій щодо умов застосування для конкретного виробу. Особливість запропонованого алгоритму полягає у встановленні вагових коефіцієнтів значущості характеристик інструменту з урахуванням безпечності, зручності та умов праці. Наведено результати оцінювання комплексного ергономічного показника кутових шліфувальних машин, що дозволило встановити дієвість розробленого алгоритму за відгуками учасників дослідження і навести рекомендації щодо його подальшого вдосконалення.

Наукова новизна полягає у встановленні взаємозв'язків між двома рівнями ергономічних показників через вагові коефіцієнти, які дозволяють врахувати складність умов праці, безпечність та зручність ручного інструменту.

Практична цінність полягає у розробці чек-листів для опрацювання бальних оцінок за встановленими ергономічними критеріями.

Ключові слова: ручний інструмент; ергономіка; чек-лист; алгоритм.

<https://doi.org/10.32347/2411-4049.2024.1.68-84>

Вступ

Незважаючи на світову тенденцію до збільшення автоматизації виробничих завдань, у деяких галузях народного господарства досі використовуються ручні інструменти. Наприклад сільське господарство, будівельна, лісова галузь та інші. Це призводить до появи виробничого травматизму та розвитку професійних захворювань опорно-рухового апарату. Потенційно небезпечні засоби виробництва – інструмент ударної дії та слюсарно-монтажний. Найчастіше під час роботи з таким інструментом працівники отримують травми очей і рук. Часто виникає прогресуюче пошкодження рук, ліктя, зап'ястя, кисті, нервів, сухожиль і сухожильних оболонок пальців. Вважається, що кількість травм можна зменшити, якщо ручні інструменти були розроблені з акцентом на комфорт користувача та принципи ергономічного дизайну. Тому виникає актуальна задача, яка пов'язана з розробкою простих дієвих механізмів для визначення комфортного використання ручного інструменту при виконанні конкретних виробничих завдань [1, 2].

Аналіз літературних джерел

Для ергономічної оцінки в статті [3] запропонований контрольний перелік основних характеристик ручних інструментів, для виявлення найбільш придатних при виконанні конкретного виробничого завдання у певних умовах праці. Автори запропонували чек-лист, який складався із шістнадцяти запитань, але чомусь не вказали, як вони пов'язані з умовами праці, що не дозволяє зробити відповідні рекомендації. В наступній роботі [4] автори зауважили, що виконання роботи в незручній позі та ще й з незручним інструментом значно збільшує ризик травмування опорно-рухового апарату працівників, тому було запропоновано удосконалити існуючий метод з оцінки ергономічності ручного інструменту "Questionnaire for hand tools (CQH)", з урахуванням антропометричних характеристик працівників. Разом з тим даний опитувальник враховує тільки особливості роботи виготовлення меблі. Цікава робота була запропонована автором [5], де розглядається взаємозв'язок ергономічності інструменту та питання безпеки, що дозволить приймати відповідні рішення для розробки та планування профілактичних заходів для зменшення нещасних випадків, травм і можливих захворювань. Найбільш критичним питанням в оцінюванні є визначення критеріїв для узгодження оціночних матриць. Автори роботи [6] зацікавились впливом вібрації електроінструменту на розвиток захворювань опорно-рухового апарату. На основі аналізу значної кількості інструментів встановили, що, на жаль, виробники чи дистриб'ютори надають обмежені дані про рівень вібрації при застосуванні інструменту, що призводить до розвитку захворювань, а головне, до помилок в оцінюванні ергономічних показників. Пропонують при визначенні ризику ввести коефіцієнт невизначеності, який допоможе врахувати експлуатаційні особливості ручного інструменту. Недоліком є відсутність шкали для оцінки цього коефіцієнта, що потребує проведення експериментальних досліджень. В результаті проведеного аналізу бачимо значну зацікавленість як в проведенні ергономічної оцінки ручного інструменту, так і розробці відповідних опитувальників, анкет, чек-листів, контрольних списків, які допомагають швидко виявити рівень ергономічності

ручного інструменту. З іншого боку, важливо даний процес пов'язати з оцінкою ергономічного ризику, що допоможе врахувати вплив конструкції ручного інструменту на розвиток професійних захворювань опорно-рухового апарату людини.

Мета роботи

Розробка алгоритму оцінювання комплексного ергономічного показника ручного інструменту, що дозволить зменшити фізичне навантаження при його використанні.

Матеріали і методи

Аналіз ергономічних показників знарядь праці полягає у вивченні структури діяльності людини під час використання виробу та його обслуговування; загальної організації, габаритно-компонувальних показників і характеристик виробу; характерного робочого положення людини чи робочої пози, яка відповідає процесу діяльності; ергономічних властивостей окремих елементів виробу та засобів діяльності: органів керування (розмірів та форми приводних елементів, значення зусиль, амплітуд, частоти використання тощо), засобів відображення інформації (загальної завантаженості інформаційного поля, розмірів і яскравості знаків, частоти миготіння сигналів, контрасту між знаками та фоном тощо); засобів організації та підтримування робочої пози (крісел, підлокітників, табуретів, підставок, підніжок, ослінчиків тощо); характеристик чинників, що їх генерує виріб у робочу зону та навколишнє середовище (шуму, вібрації, випромінювання, ультразвуку, нагрівання (охолодження), вологості, шкідливих речовини, пилу тощо). Для цього визначаються конкретні номенклатури ергономічних показників, за якими проводять спеціальну оцінку у дві стадії за рекомендаціями ДСТУ 7895:2015 «Дизайн і ергономіка. Правила оцінювання ергономічного рівня якості промислової продукції».

Номенклатура ергономічних показників розподіляється на два рівні. До першого відноситься: зручність використання, зручність керування і контролю, спланованість виробу, зручність обслуговування, гігієнічність виробу і безпечність. До другого – фізичне навантаження, психічне навантаження, розвиток стомлення та відповідність конструкції виробу та його елементів антропометричним характеристикам. При цьому показники другого рівня є складовими показників першого рівня.

Звідси, під час оцінювання, кожний експерт на підставі результатів порівняльного аналізу ергономічних властивостей поданих виробів оцінює їх ергономічні показники за п'ятибальною шкалою (1 – дуже погано, 2 – погано, 3 – задовільно, 4 – гарно, 5 – кращий) і заносить їх до спеціального опитувальника (табл. 1). Крім того, далі проводиться колективне обговорення й корегування попередніх результатів. При цьому експерти обмінюються думками щодо виставлених оцінок та їх обґрунтування. Якщо відхилення оцінок за кожним експертом від середньоарифметичної величини оцінки експертної групи на другій стадії не перевищує $\pm 0,5$ бала, то середню арифметичну величину оцінок для комплексного ергономічного показника у балах E_c розраховують за формулою

$$E_c = \frac{\sum_{j=1}^n E_j}{n}, \quad (1)$$

де E_c – загальна оцінка комплексного ергономічного показника виробу; E_j – оцінка комплексного ергономічного показника виробу, визначена експертом; n – кількість експертів.

Відмітимо, що в стандарті ДСТУ 3963 передбачено застосування для розрахунку комплексного ергономічного показника виробу вагових коефіцієнтів, які характеризують значимість конкретного ергономічного показника при користуванні виробом.

Таблиця 1. Чек-лист з оцінки комплексного ергономічного показника виробу

| № | Технічний, ергономічний, експлуатаційний показник виробу | Оцінка у балах | |
|--|---|----------------|----------|
| | | загальна | складові |
| 1 | Зручність використання виробу за призначенням | e_1 | |
| 1.1 | Фізичне навантаження | | e_{11} |
| 1.2 | Психологічне навантаження (напруженість роботи) | | e_{12} |
| 1.3 | Розвиток стомлення та зниження функційного стану користувача виробом за заданий час | | e_{13} |
| 1.4 | Відповідність конструкції виробу та його елементів антропометричним характеристикам | | e_{14} |
| $Сума E_{j21} = 0.03e_{11} + 0.06e_{12} + 0.04e_{13} + 0.06e_{14}$ | | | |
| 2 | Зручність керування і контролю (керованість) | e_2 | |
| 2.1 | Зручність сприйняття інформації | | e_{21} |
| 2.2 | Зручність конструкції органів керування виробом | | e_{22} |
| 2.3 | Раціональність компоновання виробу | | e_{23} |
| $Сума E_{j22} = 0.04e_{21} + 0.06e_{22} + 0.06e_{23}$ | | | |
| 3 | Опанованість виробу | e_3 | |
| 3.1 | Якість інформаційної моделі | | e_{31} |
| 3.2 | Повнота та зручність інструкції з експлуатації виробу | | e_{32} |
| $Сума E_{j23} = 0.03e_{31} + 0.06e_{32}$ | | | |
| 4 | Зручність обслуговування виробу | e_4 | |
| 5 | Гігієнічність виробу | e_5 | |
| 5.1 | Фізичні чинники виробу | | e_{51} |
| 5.2 | Хімічні чинники виробу | | e_{52} |
| $Сума E_{j25} = 0.04e_{51} + 0.04e_{52}$ | | | |
| 6 | Безпечність виробу | e_6 | |
| $Сума E_{j1} = 0.19e_1 + 0.19e_2 + 0.19e_3 + 0.19e_4 + 0.12e_5 + 0.12e_6$ | | | |
| $Сума E_{j2} = E_{j21} + E_{j22} + E_{j23} + E_{j25}$ | | | |
| Оцінка комплексного ергономічного показника виробу, визначена експертом $E_j = E_{j1} + E_{j2}$ | | | |

Діапазон значень вагових коефіцієнтів для ергономічних показників наведено в додатку ДСТУ 3963. Їх значення встановлюються експертом, з урахуванням умов праці, величини навантаження, індивідуальних параметрів людини, яка буде ними користуватись. При цьому величина вагового коефіцієнта для ергономічних показників 1-го роду визначається як сума всіх вагових коефіцієнтів показників 2-го рівня, які входять до його складу.

Алгоритм з визначення комплексного ергономічного показника виробу.

Перший крок. Складання переліку ергономічних характеристик ручного інструменту у відповідності до виробничих задач, для яких він призначений на конкретному робочому місці (табл. 2). Визначення впливових чинників навколишнього середовища при роботі з виробом, що перевіряється (розмір місця виконання виробничого завдання, кліматичні параметри, гігієнічні показники, інтенсивність праці, важкість праці та інше), а також індивідуальні показники працівників (фізичний стан, рівень стресостійкості, антропометричні дані та інше), що дозволить уточнити вагові коефіцієнти.

Таблиця 2. Приклад номенклатури ергономічних показників якості за стандартом

| № | Ергономічний показник |
|--|---|
| <i>Комплексні показники 1-го рівня</i> | |
| 1 | Зручність використання виробу за призначенням |
| 2 | Зручність керування і контролю (керуваність) |
| 3 | Опанованість виробу |
| 4 | Зручність обслуговування |
| 5 | Гігієнічність виробу та середовища робочої зони |
| 6 | Безпечність виробу |
| <i>Комплексні показники 2-го рівня</i> | |
| 7 | Фізичне навантаження |
| 8 | Психологічне навантаження (напруженість роботи) |
| 9 | Розвиток стомлення та зниження функційного стану користувача за заданий час |
| 10 | Відповідність конструкції виробу та його елементів антропометричним характеристикам |

Другий крок. Підбір групи експертів з п'яти і більше фахівців, які будуть визначати бали за кожним ергономічним показником, зважаючи на свій досвід, освіту і підвищення кваліфікації. З їх даних формують відповідну таблицю.

Третій крок. Проведення оцінювання комплексного ергономічного показника виробу, що складається з визначення його складових за сумою ергономічних показників 1-го і 2-го роду. Щодо першого складника – розрахунку суми ергономічних показників 2-го роду – рекомендуємо скористатись відповідним чек-листом, який наведено в таблиці 3.

Зазначені показники в таблиці 3, за якими відбувається встановлення бальних оцінок, визначались з рекомендацій «Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», затверджених наказом МОЗ від 08.04.2014 № 248.

Визначення бальних оцінок за ергономічними показниками 1-го роду проводимо за чек-листом (табл. 4). В колонці 2 (табл. 4) наведені питання, відповідь на які дозволяє оцінити зазначені ергономічні показники за 5-бальною шкалою. В колонці 3 наведена максимальна кількість балів, яку можна поставити при позитивній відповіді. В колонках 4 і 5 зазначаємо бали при позитивній (5 балів) й негативній (1 бал) відповідях. В колонці 6 ставимо бали при відповіді «не знаю», «не впевнений» – 2-4 бали.

Таблиця 3. Чек-лист для визначення ергономічних показників 2-го роду

| Позначення показника | Ергономічний показник 2-го роду | Бали | | | | |
|------------------------|--|--|---|---|--|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <i>I</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i> | <i>5</i> | <i>6</i> | <i>7</i> |
| <i>e11</i> | Фізичне навантаження | | | | | |
| <i>e11.1</i> | Величина зусилля у порівнянні з максимальним, % | < 10 | 11-30 | 31-50 | 51-80 | > 80 |
| <i>e11.2</i> | Навантаження, яке відчувається при роботі з виробом | Не відчувається | Незначне | Помірне | Значне | Дуже значне |
| Середнє значення за ФН | | | | | | |
| <i>e12</i> | Психологічне навантаження | | | | | |
| <i>e12.1</i> | Напруженість роботи через сприйняття сигналів від виробу | Відсутність необхідності сприйняття сигналів | Сприймання від виробу, але немає потреби в корекції дій | Сприймання сигналів з наступною корекцією дій та операцій | Сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними | Сприймання сигналів з наступною комплексною оцінкою взаємопов'язаних параметрів |
| <i>e12.2</i> | Частота зусиль при використанні виробу | < 4 | 4-8 | 9-14 | 15-19 | > 20 |
| Середнє значення за ПН | | | | | | |
| <i>e13</i> | Розвиток стомлення за заданий час | | | | | |
| <i>e13.1</i> | Характеристика втоми за визначений час | Малопомітна втома | Помітна | Очевидна | Сильна втома | Сильно виражена втома |
| <i>e13.2</i> | Швидкість рухів | розслаблені | повільні | нормальна | прискорена | Значно прискорена |
| Середнє значення за РС | | | | | | |
| <i>e14</i> | Відповідність конструкції виробу антропометричним характеристикам | | | | | |
| <i>e14.1</i> | Діаметр рукоятки | 110-130 | 105-110 або 130-140 | 100-105 або 140-155 | - | < 100 або > 155 |
| <i>e14.2</i> | Довжина рукоятки, зігнутої під певним кутом | 100-120 | 90-100 або 120-135 | 80-90 або 135-150 | - | < 80 або > 150 |
| Середнє значення ВАП | | | | | | |
| <i>e21</i> | Зручність сприйняття інформації | | | | | |
| <i>e21.1</i> | Якість сигналів | | | | | |
| Середнє значення ЗС | | | | | | |
| <i>e22</i> | Зручність конструкції органів керування виробом | | | | | |
| <i>e22.1</i> | Можливість регулювання | Регулюється | Регулюються окремі елементи | - | - | Не регулюється |
| Середнє значення ЗК | | | | | | |

Продовження таблиці 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------------------|--|--|--|---|-------------|---|
| <i>e23</i> | Раціональність компоунвання виробу | | | | | |
| <i>e23.1</i> | Покриття поверхні | Передбачене покриття поверхні спеціальним матеріалом | Покриття поверхні передбачене, але існує ризик травмування | Покриття поверхні не передбачене, існує ризик травмування | - | Поверхня не покрита, існує ризик травмування |
| <i>e23.2</i> | Габарити | | | | | |
| Середнє значення РК | | | | | | |
| <i>e31</i> | Якість інформаційної моделі | | | | | |
| <i>e31.1</i> | Якість надписів | чіткі, зрозумілі, впізнавані, запам'ятовуються | - | потрібен час, щоб зрозуміти їх | - | нечіткі, незрозумілі, невпізнавані, не запам'ятовуються |
| Середнє значення ЯІ | | | | | | |
| <i>e32</i> | Повнота та зручність інструкції з експлуатації виробу | | | | | |
| <i>e32.1</i> | | | | | | |
| <i>e51</i> | Фізичні чинники виробу | | | | | |
| <i>e51.1</i> | Шум, дБ | до 60 | 60-70 | 70-80 | 80-85 | більше 85 |
| <i>e51.2</i> | Вібрація, м/с ² | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 4-5 | більше 5 |
| <i>e51.3</i> | Температура нагрівання поверхні, °C | 20-25 | 18-20, 25-28 | 15-18 28-30 | 13-15 30-33 | 10-15, 33-35 |
| <i>e51.4</i> | Маса виробу (кг) | < 5 | 5-10 | 10-15 | 15-17 | > 17 |
| Середнє значення ГВ | | | | | | |
| <i>e52</i> | Хімічні чинники виробу | | | | | |
| <i>e52.1</i> | Виділення аерозолів при роботі з виробом, мг/м ³ | до 1 | 1-2 | 2-3 | 3-4 | більше 4 |
| Середнє значення ХЧ | | | | | | |

Таблиця 4. Опитувальник за ергономічними показниками 1-го роду

| Позначення показника | Ергономічний показник | Загальна кількість балів | Так | Ні | Н/З |
|----------------------|--|--------------------------|-----|----|-----|
| <i>e1</i> | Чи зручне використання виробу за призначенням? | 5 | | | |
| <i>e2</i> | Чи зручні керування й контроль при роботі з виробом? | 5 | | | |
| <i>e3</i> | Чи швидке опанування виробу? | 5 | | | |
| <i>e4</i> | Чи легке обслуговування виробу? | 5 | | | |
| <i>e5</i> | Чи створює виріб гігієнічне навантаження на робочу зону при його застосуванні? | 5 | | | |
| <i>e6</i> | Чи безпечний виріб при експлуатації? | 5 | | | |

Четвертий крок. Аналіз отриманих оцінок, обговорення сильних і слабких сторін, конструкції та прийняття рішення щодо вибору вагових коефіцієнтів для ергономічних показників 2-го роду, які визначаються, виходячи зі складності робіт, зручності, комфортності та безпечності виробу та

знаходяться в діапазоні від 0 до 0,2. Наприклад, враховуючи умови праці, в яких виконує роботу працівник, виникає необхідність виділити ті чи інші характеристики ручного інструменту, які зможуть зменшити фізичне навантаження. Наприклад, роботи в умовах стисненого простору потребують ручних інструментів з незначними габаритними розмірами, тоді як цей параметр в інших умовах може бути навіть слабкою стороною через невідповідність антропометричним розмірам. Рекомендації щодо визначення вагових коефіцієнтів наведені в таблиці 5.

Таблиця 5. Характеристика вагових коефіцієнтів ергономічних показників 2-го роду

| Величина вагового коефіцієнта | Характеристика |
|-------------------------------|---|
| 0,03 | Ергономічний показник має незначний вплив на комфортність, зручність та безпеку при виконанні виробничого завдання з урахуванням умов праці, які відповідають допустимим гігієнічним нормативним показникам |
| 0,06 | Ергономічний показник має помірний вплив на комфортність, зручність та безпеку при виконанні виробничого завдання з урахуванням умов праці, які відповідають допустимим гігієнічним нормативним показникам |
| 0,09 | Ергономічний показник має суттєвий вплив на комфортність, зручність та безпеку при виконанні виробничого завдання з урахуванням умов праці, які відповідають допустимим гігієнічним нормативним показникам |
| 0,12 | Ергономічний показник має незначний вплив на комфортність, зручність та безпеку при виконанні виробничого завдання з урахуванням умов праці, які відповідають гігієнічним нормативним показникам за класом шкідливості 1-го ступеня |
| 0,15 | Ергономічний показник має помірний вплив на комфортність, зручність та безпеку при виконанні виробничого завдання з урахуванням умов праці, які відповідають гігієнічним нормативним показникам за класом шкідливості 1-го ступеня |
| 0,18 | Ергономічний показник має суттєвий вплив на комфортність, зручність та безпеку при виконанні виробничого завдання з урахуванням умов праці, які відповідають гігієнічним нормативним показникам за класом шкідливості 1-го ступеня |
| 0,2 | Ергономічний показник має незначний вплив на комфортність, зручність та безпеку при виконанні виробничого завдання з урахуванням умов праці, які відповідають гігієнічним нормативним показникам за класом шкідливості 2-го ступеня |

Вагові коефіцієнти ергономічних показників 1-го роду визначаються як сума вагових коефіцієнтів ергономічних показників 2-го роду, виходячи з тієї умови, що їхня сума дорівнює одиниці. У разі відсутності останніх приймається середнє значення, що розраховане за всіма ваговими коефіцієнтами ергономічних показників 2-го роду.

Остаточна оцінка відбувається з урахуванням комплексних показників 2-го роду. Розрахунок загального (сумарного) комплексного ергономічного показника виробу виконується за всіма визначеними ергономічними показниками (табл. 1).

П'ятий крок. Перевірка отриманих результатів, розробка рекомендацій щодо умов застосування для конкретного виробу, визначення обмежень та сфери використання.

Для другого кроку необхідно підібрати групу експертів, які мають значний досвід роботи із інструментом, що оцінюється. Для проведення дослідження були сформовані три групи учасників: досвідчені працівники (стаж яких був більше 10 років); молоді працівники (стаж яких складав менше 5 років) і фахівці (викладачі з університетів, які спеціалізуються на ергономії). Загалом брали участь 24 добровольці.

Обробку матеріалу проводили із застосуванням додатку стандартного пакету програм Microsoft Office – Excel 2010. Отримані дані мали нормальний закон розподілу ймовірностей. Кількість спостережень була достатньою для отримання незміщених оцінок середньоквадратичного відхилення (δ). Для порівняння середніх величин кількісних показників при нормальному розподіленні використовували критерій Ст'юдента. Достовірним вважали рівень значущості $p < 0,05$ з надійністю 95%.

Для наведення прикладу з оцінки ергономічності ручного інструменту підібрали три кутові шліфувальні машинки (рис. 1). Їх технічні характеристики наведені в таблиці 6.



Рис. 1. Типи кутових шліфувальних машин для проведення дослідження з оцінки комплексного ергономічного показника: Bosch GWS 14-125 (1); WEV 15-125 Quick (2); STURM 1.9кВт (3)

Таблиця 6. Експлуатаційні характеристики кутових шліфувальних машин

| Експлуатаційні характеристики | Тип кутової шліфувальної машини | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| | Bosch GWS 14-125 | WEV 15-125 Quick | STURM 1.9кВт |
| Потужність | 1,4 кВ | 1,5 кВ | 1,9 кВТ |
| Вага | 2,2 кг | 2,5 кг | 3,1 кг |
| Кількість оборотів холостого ходу | 7500 об/хв | 2800-11000 об/хв | 8700 об/хв |
| Регулювання обертів | Є | Є | Немає |
| Плавний пуск | Немає | Є | Є |
| Захист від випадкового ввімкнення | Є | Є | Ні |
| Запобіжна муфта | Є | Є | Немає |
| Безключова заміна диску | Немає | Є | Немає |
| Захист від вібрації | Немає | Антивібраційна додаткова рукоятка | Немає |
| Діаметр диску | 125 мм | 125 мм | 180 мм |

Результати дослідження

Приклад оцінки показників ергономічності ручного інструменту другого роду наведено в таблиці 7. В таблиці 8 наведено приклад опитування експертів щодо показників ергономічності першого роду. Підсумковий розрахунок комплексного показника ергономічності виробу – таблиця 9. Вагові коефіцієнти для розрахунку кількості балів за групами ергономічних показників другого роду були визначені у відповідності до рекомендацій таблиці 5, зважаючи, що кутові шліфувальні машини є одними із найнебезпечніших ручних інструментів, які потребують мінімального навантаження, максимального інформаційного супроводу, зручності й відповідності антропометричним параметрам користувачів. Було прийнято, що умови праці відповідають допустимим умовам праці за гігієнічною класифікацією.

Таблиця 7. Результати визначення оцінок за ергономічними показниками 2-го роду

| № | Ергономічний показник 2-го роду | Тип кутової шліфувальної машини | | |
|--|---|---------------------------------|------------------|--------------|
| | | Bosch GWS 14-125 | WEV 15-125 Quick | STURM 1.9кВт |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| e_{11} | Фізичне навантаження | 3 | 2 | 4 |
| e_{12} | Психологічне навантаження | 2 | 2 | 2 |
| e_{13} | Розвиток стомлення та зниження функційного стану користувача виробом за заданий час | 3 | 4 | 3 |
| e_{14} | Відповідність конструкції антропометричним характеристикам | 3 | 3 | 4 |
| Сума $E_{j21} = 0.06e_{11} + 0.09e_{12} + 0.09e_{13} + 0.06e_{14}$ | | 0,81 | 0,84 | 0,93 |
| e_{21} | Зручність сприйняття інформації | 4 | 4 | 3 |
| e_{22} | Зручність конструкції органів керування виробом | 3 | 5 | 3 |
| e_{23} | Раціональність компоновання виробу | 4 | 4 | 4 |
| Сума $E_{j22} = 0.06e_{21} + 0.09e_{22} + 0.06e_{23}$ | | 0,75 | 0,93 | 0,69 |
| e_{31} | Якість інформаційної моделі | 4 | 4 | 3 |
| e_{32} | Повнота та зручність інструкції з експлуатації виробу | 4 | 4 | 3 |
| Сума $E_{j23} = 0.03e_{31} + 0.06e_{32}$ | | 0,36 | 0,36 | 0,27 |
| e_{51} | Фізичні чинники виробу | 3 | 3 | 2 |
| e_{52} | Хімічні чинники виробу | - | - | - |
| Сума $E_{j25} = 0.06e_{51} + 0.04e_{52}$ | | 0,18 | 0,18 | 0,12 |

Аналіз отриманих даних показав, що комплексний ергономічний показник кутових шліфувальних машин найбільше залежить від ергономічних показників 2-го роду, серед яких перевагу віддавали зручності конструкції органів керування виробом та психологічному навантаженню, яким встановили найбільший ваговий коефіцієнт. При цьому, під час розрахунку,

суми балів за ергономічними показниками 1-го роду прийняли максимальну величину вагового коефіцієнта серед розрахованих для підсилення безпекової складової.

Таблиця 8. Результати визначення оцінок за ергономічними показниками 1-го роду

| № | Ергономічний показник 1-го роду | Тип кутової шліфувальної машини | | |
|--|---|---------------------------------|------------------|--------------|
| | | Bosch GWS 14-125 | WEV 15-125 Quick | STURM 1.9кВт |
| 1 | Чи зручне використання виробу за призначенням? | 4 | 4 | 3 |
| 2 | Чи зручні керування й контроль при роботі з виробом? | 4 | 5 | 3 |
| 3 | Чи швидке опанування виробу? | 4 | 4 | 4 |
| 4 | Чи легке обслуговування виробу? | 4 | 4 | 4 |
| 5 | Чи не створює виріб гігієнічне навантаження на робочу зону при його застосуванні? | 3 | 4 | 2 |
| 6 | Чи безпечний виріб при експлуатації? | 3 | 4 | 2 |
| Сума $E_{j1} = 0.19e_1 + 0.16e_2 + 0.09e_3 + 0.1e_4 + 0.08e_5 + 0.15e_6$ | | 4,32 | 4,89 | 3,45 |

Таблиця 9. Результати визначення оцінки комплексного ергономічного показника кутових шліфувальних машин

| № | Етап розрахунку суми ергономічних показників за групами | Тип кутової шліфувальної машини | | |
|---|--|---------------------------------|------------------|--------------|
| | | Bosch GWS 14-125 | WEV 15-125 Quick | STURM 1.9кВт |
| 1 | Сума балів за ергономічними показниками 2-го роду | 2,1 | 2,31 | 2,01 |
| 2 | Сума балів за ергономічними показниками 1-го роду | 4,32 | 4,89 | 3,45 |
| 3 | Оцінка комплексного ергономічного показника виробу, визначена експертом $E_j = E_{j1} + E_{j2}$ | 6,42 | 7,2 | 5,46 |

Виходячи з результатів розрахунку ергономічних показників 2-го роду, бачимо, що найбільшу перевагу при оцінюванні було надано показникам фізичного, психічного навантаження та настання стомлення під час роботи з ручним інструментом, тоді як ергономічні показники фізичних чинників отримали найменшу кількість балів. Зазначимо, що номенклатурні ергономічні показники (табл. 2) формувались, виходячи з наданих технічних характеристик виробником. Однак їх можна значно розширити, користуючись даними стандарту ДСТУ 7895:2015, де наведено значний перелік різних ергономічних показників виробів.

Обговорення результатів дослідження

Отримані результати дозволяють визначити ергономічність ручного інструменту на основі суб'єктивних оцінок фахівців, які безпосередньо мають до них відношення, з урахуванням конкретних умов праці, а також зручності й безпечності виконання виробничого завдання. За наведеними результатами комплексного ергономічного показника виробу не можна говорити про якість наведених марок кутових шліфувальних машинок, а тільки про їх ергономічність для виконання конкретного виробничого завдання, наперед визначеними працівниками у заданих умовах праці. Крім того, встановлені оцінки розраховувались з обмеженої кількості ергономічних показників 2-го роду, що також не дозволяє говорити про перевагу однієї марки кутової машини над іншою. Зазначимо, що наведені розрахунки використовувались у якості прикладу, а не порівняння ергономічності конкретних марок кутових шліфувальних машин.

Важливою умовою якісного оцінювання є зменшення суб'єктивізму, яке можна досягти через якомога більше залучення до обговорення можливих рішень учасників зі значним досвідом роботи [8]. При знайомстві з ручним інструментом експертам пропонувалось звернути увагу на його пристосування до умов праці на робочому місці [9]. Зокрема, чи дизайн рукоятки дозволяє працювати в обмеженому просторі.

Загалом, запропонований алгоритм для аналізу ергономічності ручного інструменту сприятиме не лише забезпеченню працівників відповідним зручним інструментом, але й певною мірою зниженню ергономічного ризику травмування чи розвитку професійного захворювання опорно-рухового апарату людини. Це досягається через підвищення рівня комфорту, зручності використання і швидкості виконання завдань, що допомагає покращити умови праці та сприяє загальному здоров'ю працівників.

Наприклад, визначений комплексний ергономічний показник виробу можна застосувати для розрахунку професійно-ергономічного ризику через врахування розробки шкали інтенсивності виробничого завдання, де саме фізичне, психологічне навантаження призводять до збільшення ймовірності настання небезпечної події – фізичного перевантаження працівника (табл. 10).

Таблиця 10. Шкала інтенсивності фізичного перевантаження

| № з/п | Рівень інтенсивності перевантаження | Критерій фізичного перевантаження, % | Критерій комплексного ергономічного показника виробу | Бальна оцінка |
|-------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|---------------|
| 1 | Вкрай високий | 75-100 | До 3 | 5 |
| 2 | Високий | 50-75 | 3-5 | 4 |
| 3 | Середній | 25-50 | 5-8 | 3 |
| 4 | Низький | 1-25 | 8-10 | 2 |
| 5 | Відсутній | 0 | 10-12 | 1 |

Особливістю запропонованого підходу являється не тільки наявність чек-листа, а і можливість ранжування значущості ергономічних показників через їх значимість для конкретного працівника, виробничого завдання й умов праці.

Крім того, незначна кількість показників дозволяє швидко провести аналіз і визначити придатність інструменту до заданих умов праці. Разом з тим в даному дослідженні присутні обмеження. Зокрема, антропометричні показники людини, що може вносити протиріччя у виставлених балах, які потім осереднюються. Звідси виникає потреба в індивідуальному підході та аналізі кожного отриманого результату. Також виникає потреба у поєднанні запропонованої оцінки ергономічності з процедурою керування професійними ризиками [10]. Наприклад, через додавання показника комфортності чи зручності ручного інструменту. В подальшому виникає потреба у проведенні таких досліджень, які дозволять отримати загальну цілісну картину стосовно величини ергономічного ризику [11], що потребує заміни, контролю чи будівництва захисних бар'єрів, які зменшать кількість травм і професійних захворювань опорно-рухового апарату. Разом з тим цей підхід і так збільшує складність виявлення ергономічного ризику, особливо при зміні робочої пози та умов виконання роботи. За фактом така оцінка, на жаль, проводиться нерегулярно, що потребує внесення відповідних коригувань.

При проведенні дослідження існували деякі розбіжності щодо наведених шкал для кожного показника, наведеного в чек-листі. Учасники повідомляли щодо складності розуміння визначення бальних оцінок. Особливо при визначенні форми рукояток. Також існували суттєві відмінності між дослідниками щодо зручності рукоятки та при оцінці загальної зручності. Аналіз отриманих результатів показує, що зазначені розбіжності виникли через нерозуміння чек-листа, про що повідомила майже третина учасників дослідження. Тому виникає необхідність у більш детальному опрацюванні алгоритму з визначення ергономічності й особливостей використання чек-листа та визначення бальних показників. Разом з тим відмічаємо і наявність схожих результатів при оцінюванні ергономічних показників. Це дозволяє зробити висновок про прийнятність чек-листа, якщо до ергономічності ручного інструмента немає різномірних думок. Також бачимо, що початківці завжди виставляли вищі оцінки.

Висновок

1. Розроблено алгоритм оцінювання комплексного ергономічного показника ручного інструменту, що складається з п'яти кроків: складання переліку ергономічних характеристик ручного інструменту у відповідності до виробничих задач, підбір групи експертів п'яти і більше фахівців, проведення попереднього оцінювання комплексного ергономічного показника виробу, аналіз отриманих оцінок експертами, обговорення сильних і слабких сторін, конструкції та прийняття рішення щодо вибору вагових коефіцієнтів, перевірка отриманих результатів, розробка рекомендацій щодо умов застосування для конкретного виробу.

2. Особливість запропонованого алгоритму полягає у встановленні вагових коефіцієнтів значущості характеристик інструменту з урахуванням безпеки, зручності та умов праці.

3. Наведено результати оцінювання комплексного ергономічного показника кутових шліфувальних машин, що дозволило встановити дієвість розробленого алгоритму за відгуками учасників дослідження і навести рекомендації щодо його подальшого вдосконалення.

4. Запропоновано взаємозв'язки між двома рівнями ергономічних показників через вагові коефіцієнти, які дозволяють врахувати складність умов праці, безпечність та зручність ручного інструменту.

5. Розроблено чек-листи для опрацювання бальних оцінок за встановленими ергономічними критеріями.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бородіна, Н.А., Чеберячко, С.І., Дерюгін, О.В. (2020). Ергономічний аналіз ручного інструменту для умов автосервісу. Метод дослідження. Частина 1. *Науково-виробничий журнал «Автошляховик України»*, 3, 7-12. <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2020-3-263-7-12>
2. Бородіна, Н.А., Чеберячко, С.І., Дерюгін, О.В. (2020). Ергономічний аналіз ручного інструменту для умов автосервісу. Результати досліджень. Частина 2. *Науково-виробничий журнал «Автошляховик України»*, 4, 10-12. <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2020-4-264-10-21>
3. Dababneh, A., Lowe, B., Krieg, E., Kong, Y.-K., Waters, T. (2004). A Checklist for the Ergonomic Evaluation of Nonpowered Hand Tools, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 1(12), D135-D145. <https://doi.org/10.1080/15459620490883150>
4. Jain, R., Bihari Rana, K., Lal Meena, M., Sidh, S. (2021). Ergonomic assessment and hand tool redesign for the small scale furniture industry. *Materials today processing*, 44(6), 4952-4955. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.762>
5. Arciniega-Rocha, R.P., Erazo-Chamorro, V.C., Szabo, G. (2023). The Prevention of Industrial Manual Tool Accidents Considering Occupational Health and Safety. *Safety*, 9(3), 51. <https://doi.org/10.3390/safety9030051>
6. Johanning, E., Stillo, M., Landsbergis, P. (2020). Powered-hand tools and vibration-related disorders in US-railway maintenance-of-way workers. *Industrial Health*, 4, 58(6), 539-553. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2020-0133>
7. Stanton, N., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E., Hendrick, H. (2005). The handbook of human factors and ergonomics methods. *CRC Press LLC, Washington, D.C., USA*, 764 p. ISBN 0-415-28700-6. Режим доступу: <https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/ip/BUKU%20ERGONOMI/BUKU%20INGGRIS/Handbook%20of%20HF%20and%20Ergo%20Methods.pdf>
8. Дерев'янюк, Б.В. Щодо мінімізації суб'єктивізму при наданні платних послуг приватним особам вищими навчальними закладами системи МВС. *Проблеми правознавства та правоохоронної діяльності* : збірник наукових праць. – Донецьк : Донецький юридичний інститут МВС України, 2012. – № 3 (50). – С. 204-212. – Режим доступу: <https://repository.ndippp.gov.ua/handle/765432198/331>
9. Цимбал, Н., Донченко, С. Застосування методу ергономічного дизайну для розробки спецодягу зварювальників суднобудівної галузі. *Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми сучасного дизайну»*, Київський національний університет технологій та дизайну, 2018, 418-421. – Режим доступу: https://er.knuid.edu.ua/bitstream/123456789/10596/1/APSD2018_V1_P418-421.pdf
10. Мигаль, Г.В., Протасенко, О.Ф. Нові поняття сучасної ергономіки. *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*, 2018, №79, 162-170. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vikt_2018_79_20
11. Третьякова, Л.Д., Остапенко, Н.В. Оцінювання ризику у використанні захисного одягу. *Проблеми охорони праці в Україні*, 2016, № 32, 57-66. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/pop_2016_32_8

Стаття надійшла до редакції 15.09.2023 і прийнята до друку після рецензування 01.12.2023

REFERENCES

1. Borodina, N., Cheberiachko, S., & Deryugin, O. (2020). Ergonomic analysis of hand tools for car service conditions. Results of the study. Part 1. *A Scientific and Industrial Journal the Avtoshliakhovyk Ukrayiny*, 3, 7-12. <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2020-3-263-7-12>
2. Borodina, N., Cheberiachko, S., & Deryugin, O. (2020). Ergonomic analysis of hand tools for car service conditions. Results of the study. Part 2. *A Scientific and Industrial Journal the Avtoshliakhovyk Ukrayiny*, 3, 7-12. 4, 10-12. <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2020-4-264-10-21>
3. Dababneh, A., Lowe, B., Krieg, E., Kong, Y.-K., & Waters, T. (2004). A Checklist for the Ergonomic Evaluation of Nonpowered Hand Tools. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 1(12), D135-D145. <https://doi.org/10.1080/15459620490883150>
4. Jain, R., Bihari Rana, K., Lal Meena, M., Sidh, S. (2021). Ergonomic assessment and hand tool redesign for the small scale furniture industry. *Materials today processing*, 44(6), 4952-4955. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.762>
5. Arciniega-Rocha, R.P., Erazo-Chamorro, V.C., & Szabo, G. (2023). The Prevention of Industrial Manual Tool Accidents Considering Occupational Health and Safety. *Safety*, 9(3), 51. <https://doi.org/10.3390/safety9030051>
6. Johanning, E., Stillo, M., & Landsbergis, P. (2020). Powered-hand tools and vibration-related disorders in US-railway maintenance-of-way workers. *Industrial Health*, 4, 58(6), 539-553. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2020-0133>
7. Stanton, N., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E., & Hendrick, H. (2005). The handbook of human factors and ergonomics methods. *CRC Press LLC, Washington, D.C., USA*. 764 p. ISBN 0-415-28700-6. Retrieved from <https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/ip/BUKU%20ERGONOMI/BUKU%20INGGRIS/Handbook%20of%20HF%20and%20Ergo%20Methods.pdf>
8. Derevianko, B.V. (2012). Shchodo minimizatsii subiektyvizmu pry nadanni platnykh posluh pryvatnym osobam vyshchymy navchalnymy zakladamy systemy MVS. *Problemy pravoznavstva ta pravookhoronnoi diialnosti: zbirnyk naukovykh prats*, 3 (50), 204-212. Donetsk: Donetskyi yurydychnyi instytut MVS Ukrainy. Retrieved from <https://repository.ndipp.gov.ua/handle/765432198/331>
9. Tsymbal, N., & Donchenko, S. (2018). Application of the method of the ergonomic design for the development of the equipment of the waterbuilding devices for weldings. In *International Scientific and Practical Conference "Current Issues in Modern Design,"* (pp. 418-421). Kyiv National University of Technologies and Design. Retrieved from https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/10596/1/APSD2018_V1_P418-421.pdf
10. Mypal, H., & Protasenko, O. (2018). New Concepts in Modern Ergonomics. *Open Information and Computer Integrated Technologies*, 79, 162-170. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/vikt_2018_79_20
11. Tretiakova, L.D., & Ostapenko, N.V. (2016). Otsiniuvannia ryzyku u vykorystanni zakhysnoho odiahu. *Problemy okhorony pratsi v Ukraini*, 32, 57-66. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/pop_2016_32_8

The article was received 15.09.2023 and was accepted after revision 01.12.2023

Цопа Віталій Андрійович

доктор технічних наук, професор кафедри менеджменту, Міжнародний інститут менеджменту

Адреса робоча: вул. Шулявська, 10/12, м. Київ, Україна, 04116

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4811-3712> **e-mail:** dr.tsopav@gmail.com

Кружилко Олег Євгенович

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка»

Адреса робоча: Південне шосе, 80, м. Запоріжжя, Україна, 69008

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8624-1515> **e-mail:** olkruzhilko@ukr.net

Чеберячко Сергій Іванович

доктор технічних наук, професор кафедри охорони праці та цивільної безпеки, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"

Адреса робоча: пр. Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7307-1553> **e-mail:** cheberiachkoyi@ukr.net

Дерюгін Олег Валентинович

кандидат технічних наук, доцент кафедри управління на транспорті, Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"

Адреса робоча: пр. Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2456-7664> **e-mail:** deryugin_o@ukr.net

Негрій Тетяна Олександрівна

кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища та охорони праці, Київський національний університет будівництва і архітектури

Адреса робоча: пр. Повітрофлотський, 31, м. Київ, Україна, 03037

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4239-3178> **e-mail:** tetiana.nehrii@gmail.com