DOI: https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-36-01
УДК 621.923

[1]**С. М. АРТЮХ,** кандидат технічних наук
доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій
e-mail: artyhsn@gmail.com ORCID: 0000-0003-0804-6313
[1]**А. В. АРТЮХ,**
асистент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій
e-mail: nartyh17@gmail.com ORCID: 0000-0002-0396-0934
[1]*Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна*
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна.

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВІБРАЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ОПЕРАТОРІВ ФРЕЗЕРУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ.

У статті представлено результати дослідження впливу вібраційного навантаження на операторів фрезерувальних верстатів у реальних виробничих умовах. Актуальність теми зумовлена зростанням техногенного навантаження на працівників машинобудівних та металообробних підприємств, де інтенсивне використання фрезерного обладнання супроводжується впливом шкідливих фізичних факторів, зокрема локальної та загальної вібрації.

Метою дослідження є кількісна оцінка рівнів вібраційного навантаження та аналіз його впливу на функціональний стан організму працівників. У роботі використано інструментальні методи вимірювання вібрації згідно з ДСТУ ISO 5349, а також анкетування операторів і оцінку скарг на вібраційний дискомфорт. Для забезпечення об'єктивного дослідження впливу вібраційного навантаження на організм працівників фрезерувальних верстатів було проведено серію інструментальних вимірювань параметрів локальної вібрації на робочих місцях. Вимірювання здійснювалися із застосуванням триосевого віброметра у контрольних точках контакту рук оператора з елементами обладнання. Оцінку здійснено за показником вібраційного прискорення, нормованого за середньоквадратичним значенням.

Результати дослідження показали перевищення допустимих рівнів локальної вібрації у ряді робочих точок, що може сприяти розвитку вібраційної хвороби та зниженню працездатності. Запропоновано низку профілактичних заходів, включно з технічними модифікаціями обладнання, регламентованими режимами праці та впровадженням засобів індивідуального захисту.

Отримані дані можуть бути використані для оптимізації умов праці, розробки програм виробничого контролю та системи управління професійними ризиками на промислових підприємствах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: верстат, вібрація, фрезерне обладнання, вібраційне навантаження, умови праці.

Як цитувати: Артюх С. М., Артюх А. В. (2025). Оцінка впливу вібраційного навантаження на операторів фрезерувальних верстатів у виробничих умовах. Машнобудування. 2025. Вип. 36 С. 5-12. DOI: https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-36-01

Вступ

У сучасних умовах розвитку машинобудівної та металообробної галузей питання забезпечення безпечних умов праці на виробництві набуває особливої актуальності. Одним із поширених шкідливих факторів на робочих місцях операторів верстатного обладнання, зокрема фрезерувальних верстатів, є вібраційне навантаження. Вібрація, що передається через руки та тіло працівника під час тривалого контакту з обладнанням, може призводити до розвитку вібраційної хвороби, зниження працездатності, порушення функцій опорно-рухового апарату, нервової та серцево-судинної систем, що становить серйозну загрозу для здоров'я людини.

Науково обґрунтована оцінка рівнів вібраційного навантаження у виробничих умовах є необхідною умовою для виявлення потенційних ризиків та розробки ефективних профілактичних заходів. При цьому важливо не лише здійснити кількісні вимірювання, але й проаналізувати функціональний стан організму працівників, які постійно зазнають дії вібрації.

© Артюх С. М., Артюх А. В. 2025

Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Згідно з даними досліджень [5,8], тривала дія локальної вібрації понад нормативні межі призводить до стійких порушень периферичного кровообігу, зниження чутливості та зменшення тонусу м'язів кистей рук. Праці авторів [6,9] свідчать про наявність чіткої залежності між інтенсивністю вібраційного навантаження та швидкістю розвитку патологічних змін. Водночас, у низці робіт [7] акцентується увага на недостатності сучасної нормативної бази щодо комплексної оцінки вібраційних факторів саме на верстатних дільницях.

Незважаючи на наявні дослідження, проблема залишається відкритою, особливо в контексті вітчизняного виробництва, де питання системного контролю за вібраційним навантаженням часто не отримує належної уваги. Таким чином, актуальним є подальше вивчення параметрів вібрації у реальних умовах експлуатації обладнання та їхнього впливу на працівників, що й стало предметом цього дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відповідно до «Гігієнічної класифікації умов праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», умови праці - сукупність факторів виробничого середовища та трудового процесу, які впливають на здоров'я та працездатність людини в процесі її професійної діяльності.

Аналіз факторів, які призводять до професійних захворювань фрезерувальників свідчить, що найбільшу небезпеку становлять фізичні фактори (вібрація і шум) – 32%; забруднення повітря пилом та іншими шкідливостями – 22%; застаріле не ергономічне обладнання – 11,2% [1]. Отже дія вібрації на фрезерувальника є домінуючою чинником, і з часом призводить до виникнення професійного захворювання – вібраційної хвороби.

У відповідності з діючими санітарними нормами оцінка вібрації проводиться наступними методами: частотним (спектральним) аналізом нормованих параметрів; інтегральної оцінкою за частотою нормованих параметрів; дозовою оцінкою.

Відомим і широко застосовуваним способом дозової оцінки локальної вібрації (локальної вібраційної дії на руки) є оцінка еквівалентного рівня вібраційного прискорення за восьмигодинну зміну, відповідно до міжнародних та національних стандартів [2,3].

Його розраховують у трьох ортогональних осях (x, y, z), застосовуючи частотні фільтри згідно з ДСТУ ISO 5349, після чого обчислюється векторна сукупність.

Даний спосіб дозової оцінки локальної вібрації [2] – прогресивний методичний підхід, що дозволяє оцінити реальне навантаження на організм від вібруючого обладнання та прискорюють розвиток вібраційної хвороби супутніх чинників за формулою:

$$А = ДВ + Б,$$

де ДВ - відносна доза вібрації, рази;

Б - сума балів несприятливого впливу на організм людини прискорюють розвиток вібраційної хвороби супутніх чинників.

Причому, чим більше величина зазначених супутніх факторів, тим інтенсивніше їх несприятливий вплив на організм, яке виражається в балах.

Загальна вібрація передається працівнику через опорні поверхні тіла. Локальна вібрація передається через руки працюючих при контакті з ручним механізованим інструментом, органами керування машинами і обладнанням, деталями, які обробляються та ін. До обладнання, що вібрує, відносять обладнання, під час роботи з яким виникає вібрація, рівень якої становить не менше 20% від гігієнічного нормативу. З метою поліпшення умов праці і підвищення ефективності профілактики несприятливого впливу вібрації на тих, що працюють з вібруючим устаткуванням, розроблено положення про режим праці працівників вібронебезпечних професій. Вихідними даними для розробки режиму праці є результати гігієнічної характеристики та оцінки умов праці осіб вібронебезпечних професій, що проводиться відповідно до [4]. Отже, при знайомстві з санітарно-гігієнічної характеристикою умов праці робітників вібронебезпечних професій необхідно детальне з'ясування форми, характеру і часу впливу вібрації.

Постановка проблеми

Виробнича вібрація, яка виникає під час роботи фрезерувальних верстатів, належить до шкідливих фізичних чинників, здатних викликати несприятливі зміни в організмі працівників. Особливу небезпеку становить локальна вібрація, що передається через руки під час утримання інструменту або керування верстатом, спричиняючи розвиток так званого вібраційного синдрому, функціональні порушення в опорно-руховій, серцево-судинній та нервовій системах.

Попри наявність нормативної бази з оцінки вібраційного навантаження, на практиці спостерігається недостатній рівень контролю за параметрами вібрації у реальних умовах роботи. Більше того, багато підприємств не здійснюють систематичні вимірювання вібраційних факторів, що унеможливлює об'єктивну оцінку професійних ризиків. Водночас, більшість досліджень зосереджуються на загальній вібрації, нехтуючи впливом локальної, яка є критичною саме для операторів фрезерувальних верстатів.

Тобто, актуальною науковою та практичною проблемою є виявлення рівня вібраційного навантаження на робочих місцях операторів фрезерного обладнання та оцінка його впливу на функціональний стан організму працівників з метою обґрунтування ефективних заходів профілактики та зниження професійного ризику.

Метою роботи є оцінка інтенсивності вібраційного навантаження на робочих місцях операторів фрезерувальних верстатів, а також аналіз його впливу на функціональний стан організму працівників.

Виклад основного матеріалу

Верстатне обладнання та верстатні комплекси, призначені для механічної обробки різанням, є основним видом технологічних машин для розмірної обробки деталей, у тому числі й у деревообробній та меблевій промисловості.

Для отримання високої чистоти оброблюваних заготовок застосовуються високі швидкості різання (30-50 м/с), що досягаються високими частотами обертання шпинделів. В якості фрезерувальних верстатів для дослідження використовувались два верстати: копіювально-фрезерувальний верстат Induma TM-4C14 (рис. 1, ліворуч) та консольнофрезерувальний верстат 6P82 (рис. 1, праворуч).

За результатами досліджень рівнів локальної вібрації, що діє на працівників фрезерувальних верстатів, побудовано віброграми, приведені на рисунках 2 і 3.

Проведені дослідження виявили перевищення значень локальної вібрації на частотах 8, 16 та 31,5 октавних смуг, тоді як на високих частотах по всім трьом осям рівень вібрації був в межах норми і значно не відхилявся від нормованих значень. Найбільше перевищення визначено для верстату Induma TM-4C14.

Рис 1 – Фрезерувальні верстати: Induma TM-4C14 (ліворуч) та 6P82 -(праворуч)

Вимірювання локальної вібрації виконувалося за допомогою віброметру АТТ-2209 (таблиця 1). Норми вібрації регламентуються згідно з ДБН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної і локальної вібрації».

Fig. 1 – Milling machines: Induma TM-4S14 (left) and 6P82 -(right). Measurement of local vibration was performed using the ATT-2209 vibrometer (table 1). Vibration standards are regulated in accordance with DBN 3.3.6.039-99 "State sanitary standards for general and local industrial vibration".

Таблиця 1

Рівні вібрації під час виконання фрезерувальних робіт за даними випробувань у напрямках трьох координатних осей X, Y, Z

Table 1

Vibration levels during milling operations according to test data in the directions of the three coordinate axes X, Y, Z

Джерело вібрації – верстат (Vibration source – machine tool)	Вісь (Axis)	Значення за даними випробувань у напрямку координатних осей на частотах октавних смуг, Гц (Values according to test data in the direction of the coordinate axes at octave band frequencies, Hz)								Одиниця Вимірювання (Unit of measurement)
		8	16	31,5	63	125	250	500	1000	
Induma TM-4C14	X	87	85	82	87	92	93	97	93	дБ
	Y	86	84	85	87	92	97	99	99	дБ
	Z	82	84	86	88	94	97	99	95	дБ
6P82	X	72	74	77	86	89	99	104	107	дБ
	Y	71	75	84	86	85	94	102	99	дБ
	Z	75	73	79	85	91	97	103	109	дБ
ГДР (MPL)		73	73	79	85	91	97	103	109	дБ

**Примітка: ГДР – Гранично допустимий рівень згідно з ДСН 3.3.6.039-99*

**Note: MPL – Maximum permissible level according to SDS 3.3.6.039-99*

Дослідження підтвердили той факт, що працівники, які працюють з вібронебезпечним інструментом мають ймовірність здобути професійне захворювання – вібраційну хворобу, якщо рівні вібрації на робочих місцях будуть вищі за ГДР.

Профілактичні заходи щодо захисту від вібрацій полягають у зменшенні їх у джерелі виникнення та на шляху поширення, а також у застосуванні індивідуальних засобів захисту, проведення санітарних та організаційних заходів. Якщо вібрація машини перевищує допустиме значення, то час контакту працюючого з цією машиною обмежують.

Тривалість роботи з вібруючим інструментом не повинна перевищувати 2/3 робочої зміни.

Гігієнічні нормативи поки залишаються основним інструментом оцінки безпеки для здоров'я працівників і перевищення їх розглядається як порушення санітарного законодавства. Заходи щодо захисту працівника на сьогоднішній день – це скорочений робочий день, тиждень, додаткові дні до відпустки, достроковий вихід на пенсію, доплати за шкідливі умови праці, надання профілактичного харчування, страховка й ін. Однак, вплив небезпечним та шкідливих факторів може викликати порушення здоров'я працівників [6].

Нажаль на сьогоднішній день покращити гігієнічні умови праці повністю неможливо, тому що підприємства фінансово неспроможні власними силами замінити повність старе устаткування на більш сучасне, яке буде менше шкодити працівникові та відповідати гігієнічним нормативам [7].

На основі вищезазначеного виділяють рекомендації для покращення гігієнічних характеристик на робочих місцях працівників вібронебезпечних професій, що полягають в наступному:

- поступова заміна старого устаткування на сучасне;
- регулярні вимірювання параметрів вібрації на робочих місцях;
- розробка системи профілактичних заходів вібраційної хвороби [8].

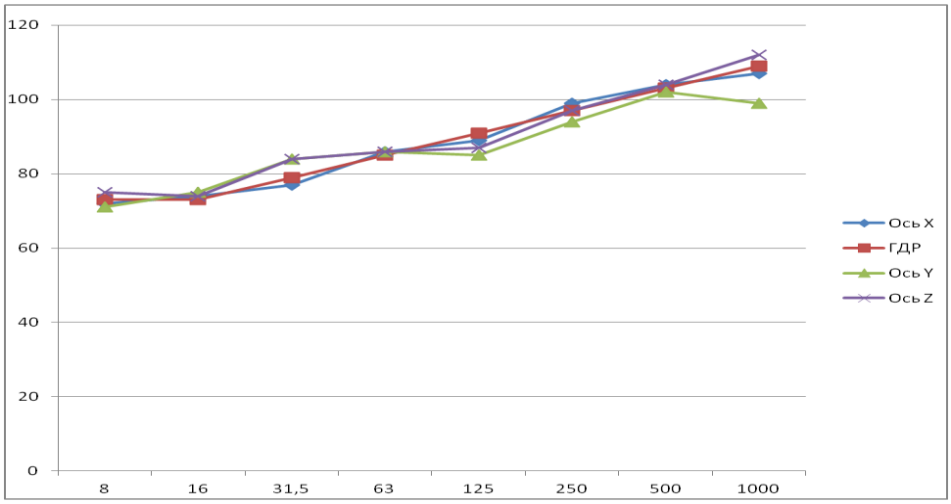

Рис. 2 – Віброграма значень ЛВ для фрезерувального верстату Induma TM-4C14
Fig. 2 – Vibrogram of LV values for the Induma TM-4S14 milling machine

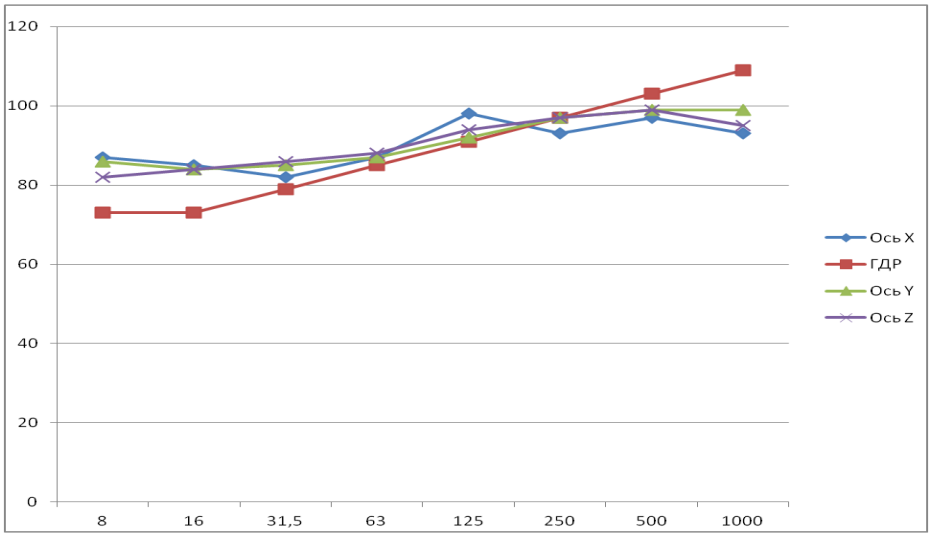

Рис. 3 – Віброграма значень ЛВ для фрезерувального верстату 6Р82
Fig. 3 – Vibrogram of LV values for the 6P82 milling machine

Висновки

У результаті проведеного дослідження встановлено, що оператори фрезерувальних верстатів у виробничих умовах піддаються тривалому впливу локальної вібрації, рівень якої у низці випадків перевищує гранично допустимі значення, визначені чинними нормативами. Інструментальні вимірювання засвідчили, що середньоквадратичне

прискорення вібрації в робочих точках контакту перевищує 5 м/с², що класифікується як високий рівень вібраційного навантаження. Отримані результати підтверджують необхідність удосконалення системи контролю за вібраційними факторами на робочих місцях, впровадження технічних і організаційних заходів щодо зниження впливу вібрації, а також регулярного моніторингу стану операторів. Запропоновані підходи можуть бути використані при розробці заходів професійної гігієни та систем управління.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаних джерел:

1. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» : наказ М-ва охорони здоров'я України від 08.04.2014 № 248. – Режим доступу : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text (дата звернення 22.09 2025)

2. ДСТУ EN ISO 5349-1:2005. Вібрація механічна. Вимірювання та оцінювання впливу на людину локальної вібрації. Частина 1. Загальні вимоги. – [Чинний від 2006 -10-01]. – Київ, 2005. – 34 с. – (Інформація і документація)

3. ДСТУ EN ISO 5349-2:2005. Вібрація механічна. Вимірювання та оцінювання впливу на людину локальної вібрації. Частина 2. Практична настанова з вимірювання на робочому місці. – [Чинний від 2006 -10-01]. – Київ, 2005. – 38 с. – (Інформація і документація)

4. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. – [Чинний від 1999 -12-01]. – Київ, 1999. – 42с. – (Інформація і документація)

5. Іванов І. О. Вплив локальної вібрації на функціональний стан працівників машинобудівного виробництва / І. О. Іванов // Охорона праці і промислова безпека. – 2019. – № 3. – С. 22–28

6. Сидоренко Л. М. Гігієнічна оцінка вібраційного навантаження у металообробних цехах / Л. М. Сидоренко // Гігієна праці. – 2020. – № 2(58). – С. 34–39.

7. Коваленко О. В. Особливості вимірювання вібраційного навантаження на верстатному обладнанні / О. В. Коваленко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2021. – № 5. – С. 44–50.

8. Petrov V. Analysis of vibration exposure and hand-arm risks in metal processing industries / Petrov V., Ivanchenko D., Marchenko S. // International Journal of Industrial Ergonomics. – 2021. – Vol. 84. – P. 103-167.

9. Zhang Y. Hand-transmitted vibration and operator performance: A systematic review of health effects and exposure levels / Zhang Y., Wang L. // Journal of Occupational Health. – 2022. – Vol. 64. – P. 23-45.

Стаття надійшла для редакції 14.08.2025 Стаття рекомендована до друку 22.09.2025

[1]**ARTIUKH S.,** Candidate of Technical Sciences;
Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Energy-Efficient Technologies
e-mail: artyhsn@gmail.com ORCID: 0000-0003-0804-6313
[1]**ARTIUKH A.,**
Assistant Professor of the Department of Automation, Metrology and Energy Efficient Technologies
e-mail: nartyh17@gmail.com ORCID: 0000-0002-0396-0934
[1]*V.N. Karazin Kharkiv National University*
Svobody square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF VIBRATION LOAD ON MILLING MACHINE OPERATORS IN PRODUCTION CONDITIONS

The article presents the results of a study of the impact of vibration load on milling machine operators in real production conditions. The relevance of the topic is due to the growing technogenic load on employees of machine-building and metalworking enterprises, where the intensive use of milling equipment is accompanied by the impact of harmful physical factors, in particular local and general vibration.

The aim of the study is to quantify the levels of vibration load and analyse its impact on the functional state of the workers' body. The study used instrumental methods of vibration measurement in accordance with DSTU ISO 5349, as well as a questionnaire survey of operators and an assessment of complaints about vibration discomfort. To ensure an objective study of the impact of vibration load on the body of milling machine operators, a series of instrumental measurements of local vibration parameters at workplaces was carried out. The measurements were carried out using a three-axis vibrometer at the control points of contact between the operator's hands and the equipment elements. The assessment was based on the vibration acceleration normalised by the root mean square value.

The results of the study showed an excess of permissible levels of local vibration at a number of work points, which can contribute to the development of vibration sickness and a decrease in performance. A number of preventive measures have been proposed, including technical modifications of equipment, regulated working conditions and the introduction of personal protective equipment.

The data obtained can be used to optimise working conditions, develop production control programmes and occupational risk management systems at industrial enterprises.

KEYWORDS: machine, vibration, milling equipment, vibration load, working conditions.

In cites: Artiukh S., Artiukh A. (2025). Assessment of the impact of vibration load on milling machine operators in production conditions. Engineering, (36), 5-12. https://doi.org/10.26565/2079-1747-2025-36-01

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of the manuscript. In addition, the authors fully complied with ethical standards, including plagiarism, data falsification, and double publication

References

1. Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy 2014, ‘Pro zatverdzhennya Derzhavnih sanItarnih norm ta pravil «GIgIEnIchna klasifIkatsIya pratsI za pokaznikami shkIdlivostI ta nebezpechnostI faktorIv virobnichogo seredovischa, vazhkostI ta napruzhenostI trudovogo protsesu» : nakaz MOZ Ukrainy vId 08.04. 2014 № 248’ [On approval of the State Sanitary Norms and Rules "HYGIENIC Classification of Labor by Indicators of Harmfulness and Danger of Factors of the Production Environment, Difficulty and Intensity of the Labor Process"], viewed https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text (Accessed: 22 September 2025)
2. DSTU EN ISO 5349-1:2005 VIbratsIya mehanIchna. VimIryuvannya ta otsInyuvannya vplivu na lyudinu lokalnoYi vIbratsIYi. Chastina 1. ZagalnI vimogi. [Chinniy vId 2006 -10-01] [Mechanical vibration. Measurement and evaluation of human exposure to local vibrations. Part 1. General requirements], Kyiv. (in Ukraine)
3. DSTU EN ISO 5349-2:2005 VIbratsIya mehanIchna. VimIryuvannya ta otsInyuvannya vplivu na lyudinu lokalnoYi vIbratsIYi. Chastina 2. Praktichna nastanova z vimIryuvannya na robochomu

mIstsI. [Chinniy vId 2006 -10-01], [Mechanical vibration. Measurement and assessment of human exposure to local vibrations. Part 2. Practical guide to workplace measurements.], Kyiv (in Ukraine)
4. DSN 3.3.6.039-99 DerzhavnI sanItarnI normi virobnichoYi zagalnoYi ta lokalnoYi vIbratsIYi. [Chinniy vId 1999 -12-01], [State sanitary standards for production of general and local samples], Kyiv. (in Ukraine)
5. Ivanov, IO 2019, 'Vplyv lokalnoi vibratsii na funktsionalnyi stan pratsivnykiv mashynobudivnoho vyrobnytstva' [The impact of local vibration on the functional state of machine-building workers.], *Okhorona pratsi i promyslova bezpeka* [Labor protection and industrial safety], no 3, Pp. 22–28.
6. Sydorenko, LM 2020, 'Hihiienichna otsinka vibratsiinoho navantazhennia u metaloobrobnykh tsekhakh' [Hygienic assessment of vibration exposure in metalworking shops.], *Hihiiena pratsi* [Occupational Hygiene], no 2(58), Pp. 34–39. (in Ukraine)
7. Kovalenko, OV 'Osoblyvosti vymiriuvannia vibratsiinoho navantazhennia na verstatnomu obladnanni' [Features of measuring vibration load on machine tool equipment], *Naukovi visti NTUU «KPI»* [«KPI Science News»], no 5, Pp. 44–50. (in Ukraine)
8. Petrov, V, Ivanchenko, D & Marchenko, S 2021, 'Analysis of vibration exposure and hand-arm risks in metal processing industries', *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 84, Pp. 103-167.
9. Zhang, Y & Wang, L 2022, 'Hand-transmitted vibration and operator performance: A systematic review of health effects and exposure levels', *Journal of Occupational Health*, Vol. 64, Pp. 23-45.

The article was received by the editors 08/14/2025 The article is recommended for printing 09/22/2025