

СТЕПАНОВ М.С., ЛІТОВЧЕНКО П.І., ІВАНОВА Л.П., ІВАНОВА М.С.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ РОБОЧОЇ РІДИНИ В ПІДШИПНИКАХ ШПИНДЕЛЯ КРУГЛОШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Виконано експериментальні дослідження температури робочої рідини в підшипниках шпинделя шліфувальної бабки круглошліфувальних верстатів різних моделей. Описано умови виконаних експериментальних досліджень. Розглянуто вплив температури навколишнього середовища та конструктивних параметрів деталей шліфувальних бабок на зміну температури робочої рідини в передньому і задньому підшипниках шпинделя. Експериментально доведено, що різниця температур рідини в передньому і задньому підшипниках залежить від часу роботи верстата. Встановлено часовий інтервал роботи верстата, коли настає теплова рівновага.

Ключові слова: круглошліфувальний верстат, передній і задній підшипники шліфувальної бабки, температура рідини, температура навколишнього середовища.

STEPANOV M.S., LITOVCHENKO P.I., IVANOVA L.P., IVANOVA M.S.

EXPERIMENTAL STUDIES OF WORKING FLUID TEMPERATURE IN SPINDLE BEARINGS OF CYLINDRICAL GRINDING MACHINES

Experimental studies of the temperature of the working fluid in the spindle bearings of the grinding head of circular grinding machines of different models have been performed. The conditions of the performed experimental researches are described. The influence of ambient temperature and design parameters of grinding head parts on the change of working fluid temperature in the front and rear spindle bearings is considered. It is experimentally proven that the difference in fluid temperatures in the front and rear bearings depends on the operating time of the machine. The time interval of machine operation when thermal equilibrium occurs is set.

Keywords: cylindrical grinding machine, front and rear grinder bearings, fluid temperature, ambient temperature.

1. Вступ. В загальному балансі теплових деформацій переважають деформації шпindelної бабки [1, 2]. Нерівномірний нагрів стінок шліфувальної бабки з розташованими в ній підшипниками шпинделя обумовлює його перекіс, а отже, похибки форми оброблених поверхонь [3]. Для усунення цих похибок важливо знати тепловий стан робочої рідини у підшипниках і визначити його вплив на похибки обробки.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій. Раніше робилися спроби модернізації підшипникових вузлів, які забезпечували зниження температури корпусу шліфувальної бабки на 25% [4]. Пропонувалися конструктивні схеми охолодження, що забезпечували прогнозовану поведінку шпindelних вузлів [5, 6]. Розроблено принципово нові способи охолодження шпindelних вузлів [7]. Нові, підвищені вимоги до точності обробки диктують потребу у більш детальному вивченні теплового стану технологічних рідин шліфувальних верстатів.

3. Мета дослідження. Отримання фактичних кількісних значень температур робочої рідини в підшипниках шпинделя шліфувальних верстатів і дослідження зміни температури робочої рідини під час роботи верстата.

4. Викладення основного матеріалу. Застосовувалися наступні умови проведення експериментальних досліджень.

Час проведення експериментів від 0 до 360 хв. Температуру робочої рідини у підшипниках і температуру навколишнього середовища фіксували одночасно. Температуру робочої рідини фіксували при обертанні шпинделя на холостому ході, тому що за даними [8] зміна навантаження на верстат практично не впливає на величину теплових деформацій технологічної системи.

При вимірюванні температури шліфувальна бабка знаходилася у нерухомому стані. Подача МОР у зону різання була відсутня. Експерименти проводили на верстатах ЗБ151 і ЗБ161 (оброблялися деталі, які не відрізнялися за конструкцією) і ін.

Температурне поле досліджували за допомогою термопар, розміщених на поверхнях корпусу шліфувальної бабки. Крім того, термопари розташовували в резервуарі гідросистеми (бак для змащування підшипників шпинделя).

Перед початком вимірювань переконувалися, щоб температури деталей і вузлів верстата була ідентична температурі навколишнього середовища. Для виконання цієї вимоги верстат повинен не працювати протягом 12 годин.

Встановлено (рис. 1), що наприкінці робочого дня (через 360 хв. після включення) температура рідини в підшипниках максимальна і може досягати 60 °С, що критично не допустимо.

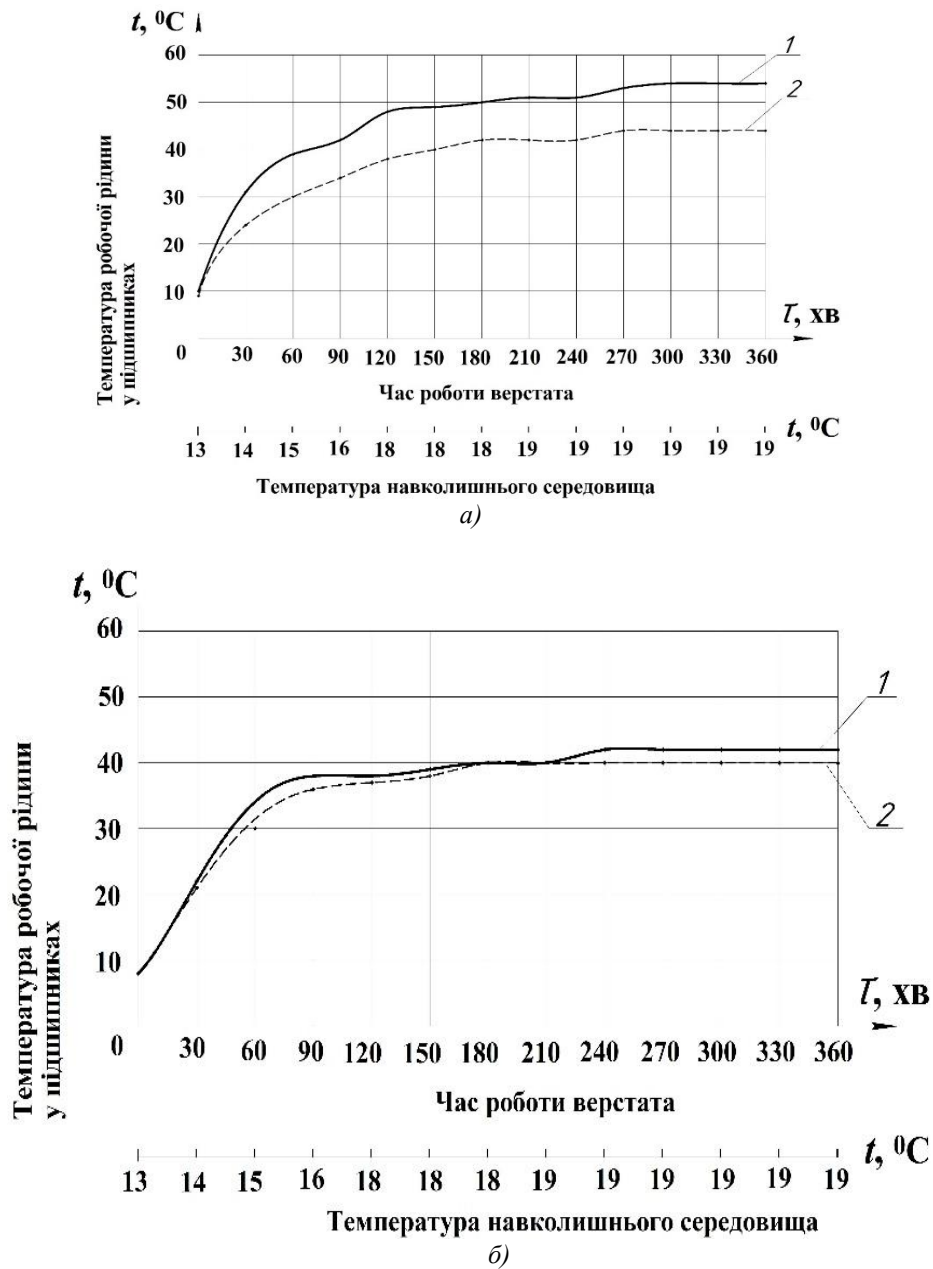


Рис. 1 – Вплив часу роботи круглошліфувального верстата 3Б151 на температуру робочої рідини у підшипниках шпинделя: 1, 2 – передній і задній підшипники, відповідно; а, б – варіанти впливу температурного і технологічного факторів

Як правило температура робочої рідини в передньому підшипнику (лівому у шліфувального круга) вище, ніж у задньому (біля шківів пасової передачі).

Максимальна температура робочої рідини у підшипниках встановлюється для різних верстатів у інтервалі 200...300 хв. роботи верстатів (рис. 1, а, б). Стабілізація температури рідин (повна теплова рівновага) встановлюється через 150...180 хв. роботи верстата.

Температура робочої рідини у підшипниках в початковий момент часу коливалася від 8 до 10 °C і визначалася температурою навколишнього середовища.

Температура робочої рідини в опорах різна. В передній опорі вона вища, ніж у задній. Різниця спостерігається протягом всього робочого дня і складає від 2 до 11 °C. Причому на одних верстатах різниця носить постійний характер, а на інших – різниця з часом збільшується. Підвищення якості опорних вузлів (в тому числі підшипників шпинделя) є одним з ефективних напрямків підвищення точності шліфувальних верстатів. Для цього в опорах

рідинного тертя зменшують теплоутворення, яке визначається тепловим станом рідин, що застосовуються. Нагрів опор призводить до зміни зазору у підшипниках і, в результаті, до теплового зміщення кінця шпинделя. В залежності від класу точності верстата допускаються наступні значення температури опор (табл. 1).

Таблиця 1 – Допустима температура опор шпинделя шліфувального верстата

Клас точності верстата	Н	П	В	А	С
Допустима температура в опорах шпинделя, °С	60	50...55	40...45	36...40	28...30

Підшипники ковзання шпинделя шліфувальної бабки повинні забезпечувати радіальну і кутову жорсткість мастильного шару і надійність опор в екстремальних умовах нагріву. Температура нагріву робочої рідини у підшипниках особливо важлива для верстатів підвищеної точності. Для її визначення, як правило, розраховують тиск мастильного шару на поверхні ковзання при сумісному рішенні рівнянь балансу витрат рідини і рівняння Рейнольдса для врівноваженого опорного вузла при дії певних навантаження та моменту.

Джерелом теплоутворення у підшипнику є тертя між його деталями. Момент тертя залежить від конструкції підшипника, а також, точності його виготовлення і монтажу у бабці.

Працездатність підшипників ковзання залежить від правильності конструктивного виконання, ефективності системи мащення, і якості робочої рідини, що застосовується. Експерименти показали значну відмінність фактичної температури нагріву опор шпинделів від розрахункової. Це свідчить про вплив технологічних параметрів, зокрема точності, на теплоутворення у підшипникових вузлах.

Досліджували вплив конструктивних параметрів деталей круглошліфувальних верстатів на температуру робочої рідини у підшипниках шпинделя.

Експерименти проводили на верстатах 3А164 та 3174, у яких ширина лицьової частини шліфувальних бабок більше у 1,5 рази ніж у верстатів 3М151, 3А151, 3Б151, 3А161.

Як показали експерименти (рис. 3), температура робочої рідини у підшипниках шпинделя, як у раніш досліджуваних верстатів, залежить від часу роботи. За робочу зміну вказана температура може підійнятися від початкової на 20...33 °С і залежить, у тому числі, від температури навколишнього середовища.

Різниця температури робочої рідини в підшипниках не перевищує 1,5...2 °С, причому, як правило, більш висока температура спостерігається у рідині в передньому (лівому) підшипнику. У початковий період роботи верстату (перші 30 хвилин) різниця температури практично відсутня.

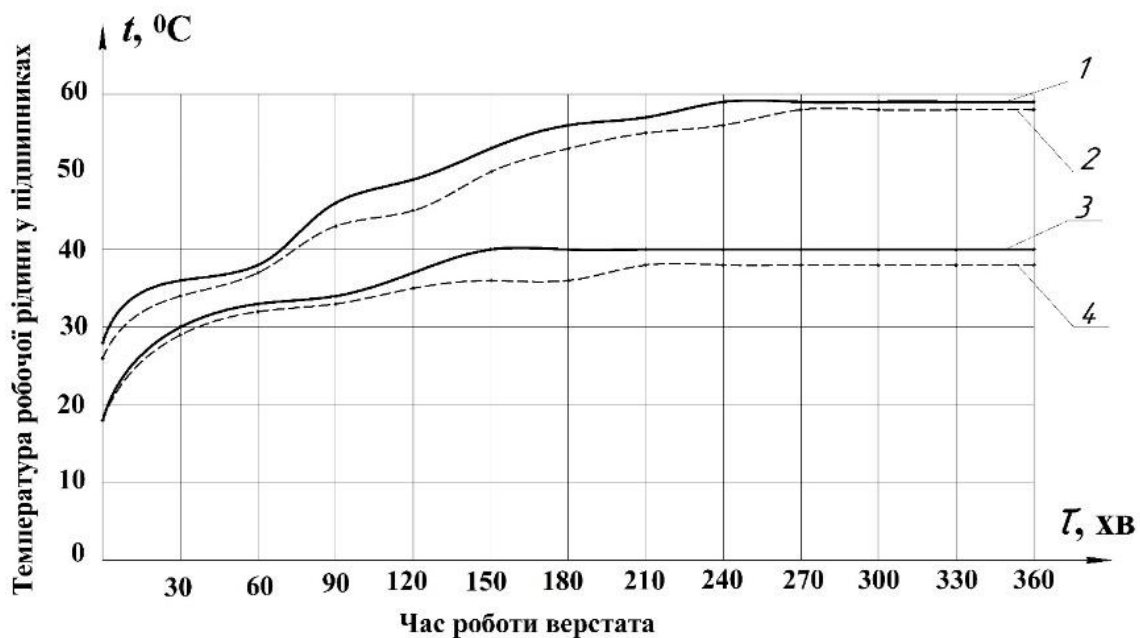


Рис. 2 – Вплив часу роботи круглошліфувального верстата на температуру робочої рідини у підшипниках шпинделя: 1, 2 – передній і задній підшипники, відповідно, при температурі навколишнього середовища 26-27 °С; 3, 4 – передній і задній підшипники, відповідно, при температурі навколишнього середовища 17-18 °С

Протягом робочого дня температура навколишнього середовища може змінюватися в широких межах (рис. 3). В ході проведення експериментів діапазон зміни температури знаходився в межах від 13 °С до 23 °С. Характер змін спостерігався різний.

У зв'язку з цим досліджували вплив середньої температури навколишнього середовища на середню температуру робочої рідини в підшипниках шпинделя шліфувальної бабки (рис. 4).

Як показують графіки, при збільшенні значення середньої температури навколишнього середовища протягом робочого дня з 15 °С до 23 °С (протягом робочої зміни) середня температура робочої рідини у передній опорі збільшується з 34 °С до 45 °С, тобто, на 11 °С. Температура ж робочої рідини у задньому підшипнику збільшується з 33 °С до 37 °С і, навіть, 40 °С.

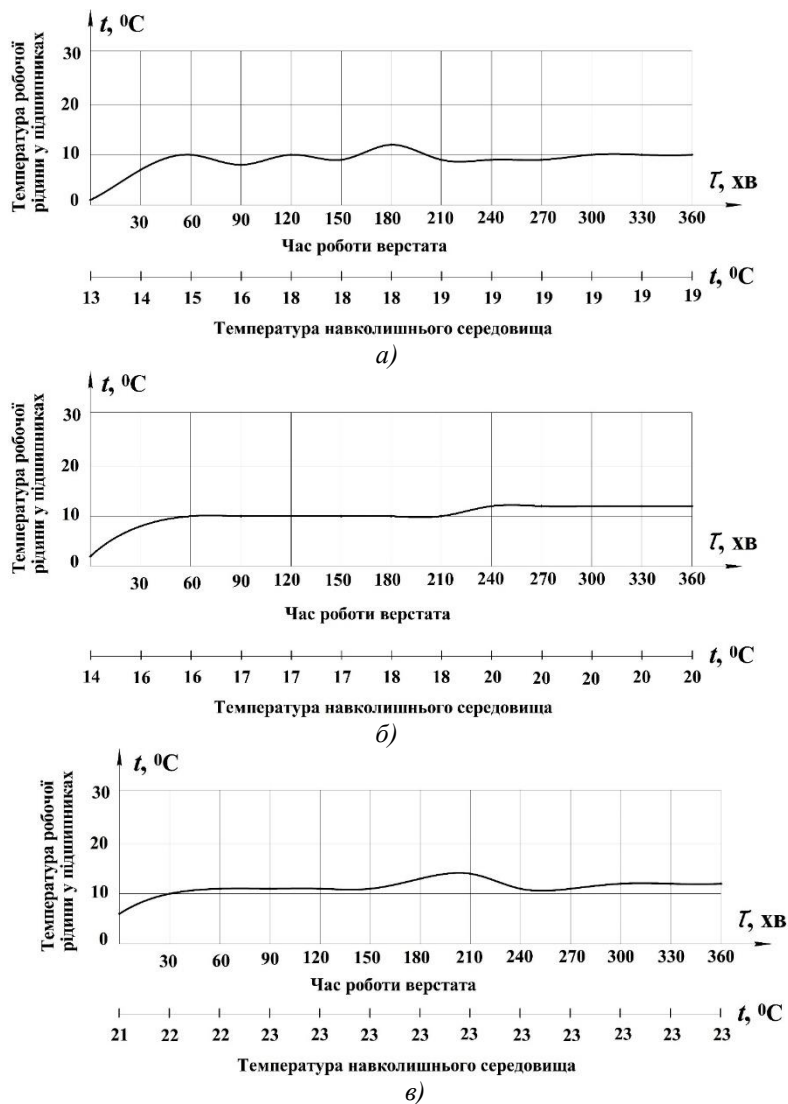


Рис. 3 – Різниця температур робочої рідини в підшипниках шпинделя верстатів 3Б151 при різних значеннях температури навколишнього середовища: а – верстат 1; б – верстат 2; в – верстат 3



Рис. 4 – Температура навколишнього середовища у цеху

Якщо на початку робочого дня різниця температур в передній і задній опорах складає приблизно 1 °С (тобто, практично невідчутна), то наприкінці робочого дня вона може складати 7...12 °С (рис. 5). При цьому температура рідини у підшипниках зростає, а її стабілізація настає при температурі навколишнього середовища, яка знаходиться у діапазоні 18...20 °С (див. рис. 1, а, б).

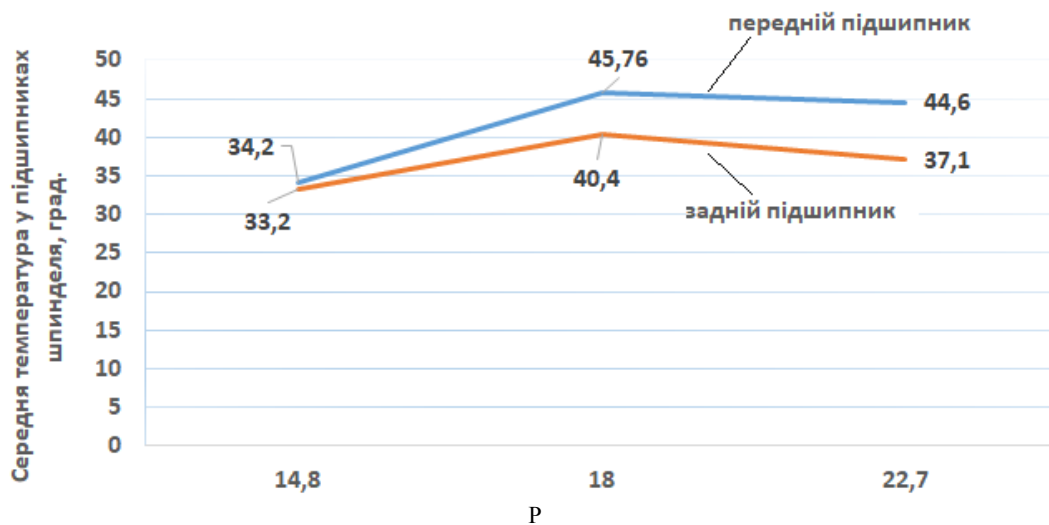


рис. 5 – Вплив середньої температури навколишнього середовища протягом робочого дня на середню температуру робочої рідини у підшипниках шпинделя

Висновки.

1. Температура робочої рідини в підшипниках шпинделя може складати 45...50 °С, а в деяких випадках може досягати 60 °С, що неприпустимо.
2. Початкова температура рідини залежить від температури навколишнього середовища і складає 8...26 °С.
3. Різниця температур рідини в підшипниках залежить від часу роботи верстата і складає 2...10 °С. Як правило, температура у передньому підшипнику вища за температуру у задньому.
4. Теплова рівновага у рідині настає після 150...180 хвилин роботи верстату.
5. Ефективність заходів по модернізації шпиндельних вузлів підвищується при їх комплексному використанні із заходами по зменшенню розбризкування МОР.

Список літератури:

1. Рохин В.Л. Исследование баланса тепловых деформаций токарного станка с ЧПУ / В.Л. Рохин, Л.В. Рохин // Вестник КГУ. – 2005. – №2. – С. 106-108.
2. Stepanov, M., Ivanova, M., Litovchenko, P., Ivanova, L., Tarasenko, O. Study of Thermal Modes of Working Fluids in Grinding Machines. In: , et al. Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 2020. – P. 299–308.
3. Іванова Л.П. Аналіз теплового стану технологічних рідин металорізальних верстатів / Л.П. Іванова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: Серія: Технології в машинобудуванні, №1. – 2020. – С. 36-40.
4. Вектерис В.Ю. Стабилизация температурного режима круглошлифовальных станков / В.Ю. Вектерис // Станки и инструмент. – 1986.– №7.– с. 16-17.
5. Солоха В.В. Зниження впливу теплових деформацій на точність обробки на токарних верстатах / В.В. Солоха, В.С. Ліліченко, М.В. Фролов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2011. – №2. – С. 69-72.
6. Патент на корисну модель №116095, Україна, МПК(2019.01) . Пристрій подачі мастильно-охолоджуючої рідини / М.С. Степанов, П.І. Літовченко, О.В. Котляр, М.С. Іванова, Л.П. Іванова, Є.В. Басова; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т «ХПІ». – № у 2018 11969; опубл. 12.08. 2019. Бюл. №15.
7. Дубров Д.Ю. О возможности стабилизации температуры шпиндельного узла металлорежущего станка / Д.Ю. Дубров, Ю.С. Дубров, Д.А. Сыромятников // Интернет-журнал «Науковедение», 2017. – Том. 9. – №8. – с. 1-7. Режим доступа: naukovedenie.ru/PDF/155TVN617.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана.
8. Дибиров С.Ю. Особенности температурных деформаций станков с ЧПУ / С.Ю. Дибиров, Н.Д. Бахмуткадиев, В.И. Дудин // Современные материалы, техника и технологии. – 2016. – №5. – С. 65-72.

References (transliterated)

1. Rohin V.L., Rohin L.V. *Issledovanie balansa teplovykh deformacij tokarnogo stanka s CHPU* [Investigation of the balance of thermal deformations of a CNC lathe]. / Vestnik KGU. №2. 106-108 (2005).
2. Stepanov, M., Ivanova, M., Litovchenko, P., Ivanova, L., Tarasenko, O. Study of Thermal Modes of Working Fluids in Grinding Machines. In: , et al. Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 299–308. (2020).
3. Ivanova L.P. *Analiz teplovoho stanu tekhnolohichnykh ridyn metalorizal'nykh verstativ* [Analysis of the thermal state of technological fluids of metal-cutting machines] / Visnyk NTU "KHPI". Seriya: Tekhnolohii v mashynobuduvanni. №1. 36-40 (2020).
4. Vekteris V.YU. *Stabilizaciya temperaturnogo rezhima krugloshlifoval'nykh stankov* [Stabilization of the temperature regime of cylindrical grinding machines] / Stanki i instrument. №7. 16-17. 1986.
5. Solokha V.V. *Znyzhennia vplyvu teplovykh deformatsii na tochnist obrobky na tokarnykh verstatakh* [Reduction of influence of thermal deformations on accuracy of processing on lathes] / Novi materialy i tekhnolohii v metalurhii ta mashynobuduvanni. №2. 69-72 (2011).
6. Patent for utility model №116095, Ukraine, IPC (2019.01). Lubricating and coolant supply device / M.S. Stepanov, P.I. Litovchenko, O.V. Kotlyar, M.S. Ivanova, L.P. Ivanova, E.V. Basova; applicant and patent owner Nat. tech. HPI University. № u 2018 11969; publ. 12.08. 2019. Bull. №15.
7. Dubrov D.YU. *O vozmozhnosti stabilizacii temperatury shpindel'nogo uzla metallorazhushchego stanka* [About the possibility of stabilizing the temperature of the spindle unit of the metal-cutting machine] / Internet-zhurnal «Naukovedenie», Vol. 9. №8. 1-7 (2017). – Rezhim dostupa: naukovedenie.ru/PDF/155TVN617.pdf (dostup svobodnyj). Zagl. s ekrana.
8. Dibirov S.YU. *Osobennosti temperaturnykh deformacij stankov s CHPU* [Features of thermal deformations of CNC machines] / Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii. №5. 65-72 (2016).

Поступила (received) 24.03.2022

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Степанов Михайло Сергійович (Степанов Михаил Сергеевич, Mykhailo Stepanov) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2224-6509>; тел.: (057) 720-66-25. e-mail: mykhaylo.stepanov@khp.edu.ua.

Літовченко Петро Іванович (Литовченко Петр Иванович, Petro Litovchenko) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України, м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4483-597X>, e-mail: pilitovchenko1950@gmail.com.

Іванова Лариса Петрівна (Иванова Лариса Петровна, Larysa Ivanova) – старший викладач кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2390-7372>, тел.: (057) 720-66-25, e-mail: larisanangu@gmail.com.

Іванова Марина Сергіївна (Иванова Марина Сергеевна, Maryna Ivanova) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0848-6805>; тел.: (057) 720-66-25; e-mail: maryna.ivanova@khp.edu.ua.