

*СТЕПАНОВ М.С., ІВАНОВА М.С., ЛІТОВЧЕНКО П.І., ІВАНОВА Л.П., СКИДАН Н.П.***АНАЛІЗ ЕНЕРГОНАСИЧЕНОСТІ КРУГЛОШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ**

Постійно зростаючі ціни на енергоносії, а також сучасні виклики, пов'язані зі складнощами забезпечення сталого електропостачання є рушійними факторами для досліджень, спрямованих на зниження енергоспоживання металообробним обладнанням. Для ефективного управління та зменшення споживання енергії шліфувальними верстатами запропоновано системи заходів по мінімізації енерговитрат на різання, на переміщення елементів технологічної системи на допоміжне обладнання. Графічно показано характер змінення споживаної потужності в залежності від періоду часу роботи двигунів. Запропоновано при визначенні сумарної потужності технологічної системи шліфувального верстата враховувати потужності електродвигунів приводу обертання шліфувального круга, заготовки, насоса гідроприводу, вентилятора охолодження, насоса змащування підшипників шпинделя, насоса змащування напрямних, насоса подачі МОР, привода магнітного сепаратора, привода фільтра-транспортера очищення МОР.

Ключові слова: шліфувальний верстат, споживання електроенергії, енерговитрати, електродвигун.

**STEPANOV M.S., IVANOVA M.S., LITOVCHENKO P.I., IVANOVA L.P., SKYDAN N.P.
ANALYSING THE ENERGY SATURATION OF CYLINDRICAL GRINDING MACHINES**

Constantly rising energy prices and the current challenges of securing a sustainable power supply are driving research into how to reduce the energy consumption of metalworking equipment. To efficiently manage and reduce energy consumption by grinding machines, a system of measures to minimize energy consumption for cutting, for moving elements of the technological system, and for auxiliary equipment has been proposed. The nature of the change in power consumption depending on the period of engine operation is shown on the graph. When determining the total power of the technological system of a grinding machine, it is proposed to take into account the power of electric motors for driving the rotation of the grinding wheel, workpiece, hydraulic drive pump, cooling fan, spindle bearing lubrication pump, guide lubrication pump, coolant supply pump, magnetic separator drive, coolant cleaning filter-transporter drive.

Keywords: grinding machine, electricity consumption, energy consumption, electric motor.

1. Вступ. Одним з найбільш актуальних шляхів удосконалення технологічних процесів обробки різанням є підвищення енергетичної ефективності металорізальних верстатів при забезпеченні потрібної точності та продуктивності обробки деталей.

Згідно зі звітом Міжнародного енергетичного агентства, на виробничу діяльність припадає 17% світового споживання енергії [1]. Енергоємність технологічних операцій, що виконуються на металорізальному обладнанні, може змінюватися в широкому діапазоні значень. Особливо енерговитратними є операції шліфування, на яких за даними досліджень [2] енергоємність в 10 разів перевищує енергоємність лезової обробки. Для рішення проблеми зниження енергоємності необхідне виконання обов'язкових енергетичних обстежень технологічних систем обробки різанням з метою чіткого визначення енергоємності окремих їхніх споживачів. Наприклад, автори роботи [3] запропонували враховувати енергію, споживану електричним контролером, системою охолодження, обертанням коліс, x-infeed, y-infeed та z-infeed при визначенні сумарного енергоспоживання верстатом. А в роботі [4] зазначається, що споживання електроенергії металорізальним верстатом розподіляється наступним чином: серво-приводи – 17%, гідравлічна система – 27%, система охолодження та змащення – 31%, допоміжні системи – 19%, система контролю – 6 %.

Для проведення вище зазначених обстежень необхідно встановити структуру енерговитрат конкретного верстата і його допоміжних систем.

При рішенні вказаної задачі досягається два позитивних результати:

а) зменшення енергоспоживання верстатом за рахунок інтенсифікації процесу енергозбереження забезпечує зниження собівартості обробки на операціях шліфування;

б) внаслідок виникнення температурних деформацій, як відомо, погіршуються точність круглошліфувальних верстатів [5], тому зниження енергоспоживання і, відповідно, зменшення інтенсивності тепловиділення забезпечує зниження температурних деформацій елементів верстата і, відповідно, підвищення точності обробки деталей.

Таким чином, проблема зниження енергоємності шліфувальних верстатів є особливо актуальною.

2. Мета дослідження. Аналіз елементів шліфувальних верстатів для визначення основних споживачів електроенергії з метою розробки рекомендацій зниження енергоємності шліфувальних операцій.

3. Викладення основного матеріалу та результати. Основними напрямками рішення проблеми зниження енергоємності шліфувальних верстатів є застосування трьох основних комплексних системних заходів по зниженню енергоємності технологічної системи шліфування.

Оскільки головним джерелом тепловиділення у шліфувальному верстаті є зона різання, то зниження енерговитрат у цій зоні має включати систему заходів, структуру яких наведено на рис. 1.



Рис. 1 – Структура системи заходів по мінімізації енерговитрат на різання

Значні енерговитрати приходяться на забезпечення необхідних робочих і допоміжних рухів елементів технологічної системи. Структура заходів по зменшенню цих енерговитрат значно складніша і потребує удосконалення верстатів, схем обробки, застосування сучасних конструктивних і мастильних матеріалів (рис. 2).



Рис. 2 – Структура системи заходів по мінімізації енерговитрат на переміщення елементів технологічної системи

Третім напрямком є зменшення енерговитрат на допоміжне обладнання (рис. 3), а саме: гідравлічні системи мащення і системи застосування МОР, а також системи контролю і керування верстатом.



Рис. 3 – Структура системи заходів по мінімізації енерговитрат на допоміжне обладнання

Для визначення джерел теплоти і ступені їх впливу на загальне теплове поле верстату виконано структурний аналіз енергоспоживання шліфувальним верстатом.

Досвід показує, що основною причиною теплоутворення у шліфувальному верстаті є внутрішні джерела тепла, до яких можна віднести й електродвигуни.

Електродвигуни, як споживачі електричної енергії та частина технологічної системи шліфування, можна поділити на чотири основні групи:

I група – електродвигуни, що забезпечують процес різання (електродвигун приводу обертання шліфувального круга; електродвигун приводу обертання заготовки);

II група – електродвигуни, що забезпечують роботу гідроприводу (електродвигун основного насоса; електродвигун обертання вентилятора охолодження);

III група – електродвигуни, що забезпечують змащування (електродвигун насосів змащування підшипників шпинделя; електродвигун насосів змащування напрямних);

IV група – електродвигуни підсистеми застосування МОР (електродвигун насосу подачі МОР в зону різання; електродвигун магнітного сепаратора очищення МОР; електродвигун переміщення фільтрувальної стрічки фільтра-транспортера очищення МОР).

Робота вищевказаних електродвигунів визначається режимами (параметрами циклу) обробки. Характер змінення споживаної потужності в залежності від періоду часу обробки можна оцінити за допомогою діаграми (рис. 4).

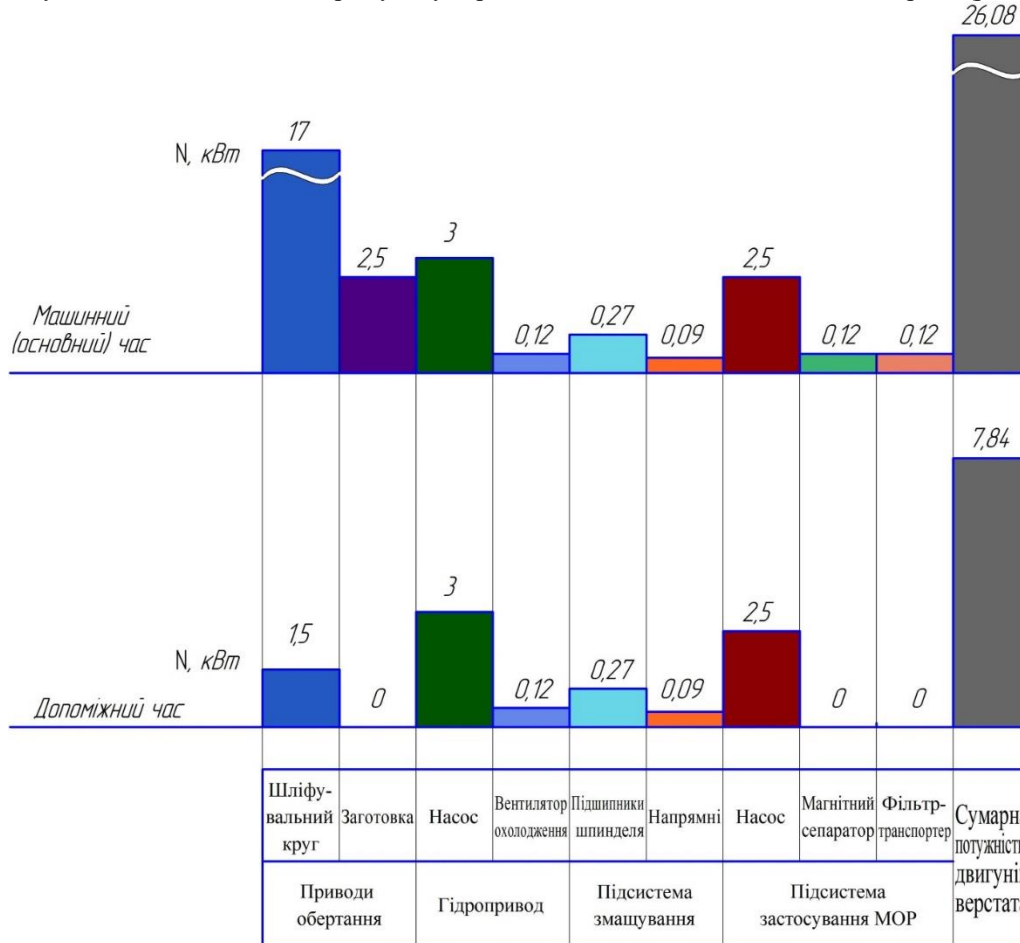


Рис. 4 – Гістограма застосування потужностей електродвигунів круглошліфувального верстата у циклі обробки

Оптимальні параметри процесу шліфування потрібно перевіряти на можливість їх реалізації у певних умовах, тобто на їх належність області допустимих значень. Як відомо, ця область формується комплексом технологічних обмежень, що накладаються на процес шліфування технічними вимогами до якості оброблюваної поверхні, а також обмеженнями потужності приводу верстата. Крім того, для розрахунку режимів різання необхідно знати паспортні дані верстата, в тому числі, потужність приводу обертання шліфувального круга.

Для швидкісного шліфування розроблено нормативи потрібної ефективної потужності шліфування в залежності від величини питомого видалення матеріалу [6, 7].

З врахування сказаного вище, сумарна потужність технологічної системи шліфувального верстата може бути визначена за формулою

$$N_{\Sigma} = N_{шк} + N_з + N_{гп} + N_{во} + N_{зп} + N_{зн} + N_{нМОР} + N_{мс} + N_{фт}, \quad (1)$$

де $N_{шк}$, $N_з$, $N_{гп}$, $N_{во}$, $N_{зп}$, $N_{зн}$, $N_{нМОР}$, $N_{мс}$, $N_{фт}$ – потужності електродвигунів приводу обертання шліфувального круга, заготовки, насоса гідроприводу, вентилятора охолодження, насоса змащування підшипників шпинделя, насоса змащування напрямних, насоса подачі МОР, приводу магнітного сепаратора, приводу фільтра-транспортера очищення МОР, відповідно.

Аналіз гістограми (рис. 4) показує, що сумарна потужність електродвигунів, які забезпечують функціонування елементів технологічної системи в період машинного часу, більш ніж у 3 рази перевищує сумарну потужність електродвигунів у період допоміжного часу.

Приблизно потужності круглошліфувального верстата витрачається на обертання шліфувального круга (рис. 5). Потужність електродвигуна приводу обертання шліфувального круга коливається у діапазоні від 4 до 30 кВт і більше. Потужність електродвигуна приводу обертання шліфувального круга важких

вальцешліфувальних верстатів може в 6–8 разів перевищувати потужність серійних шліфувальних верстатів (рис. 6).

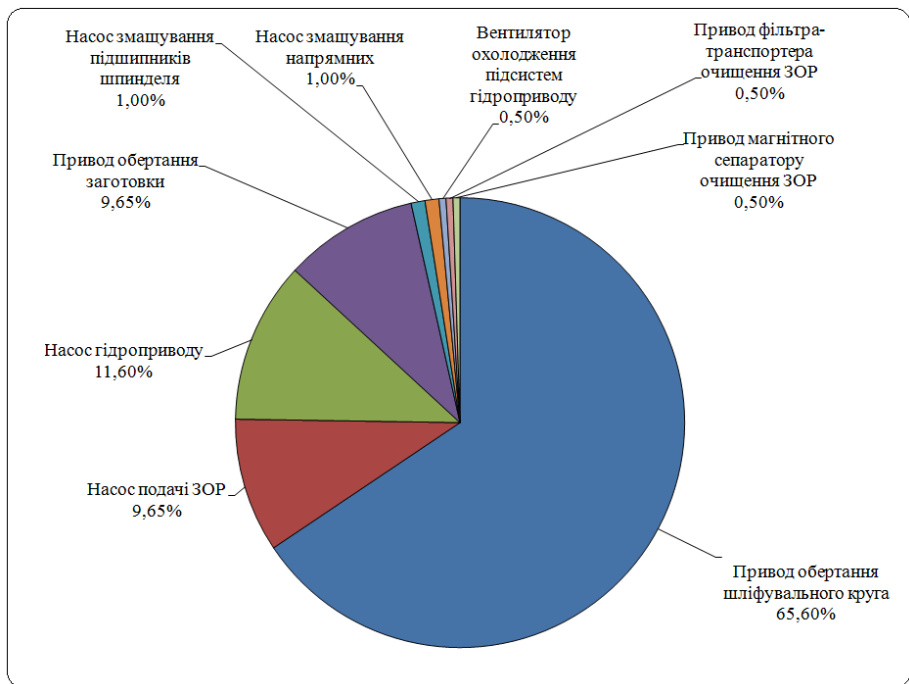


Рис. 5 – Розподіл потужності електродвигунів за характером їх використання в круглошліфувальному верстаті

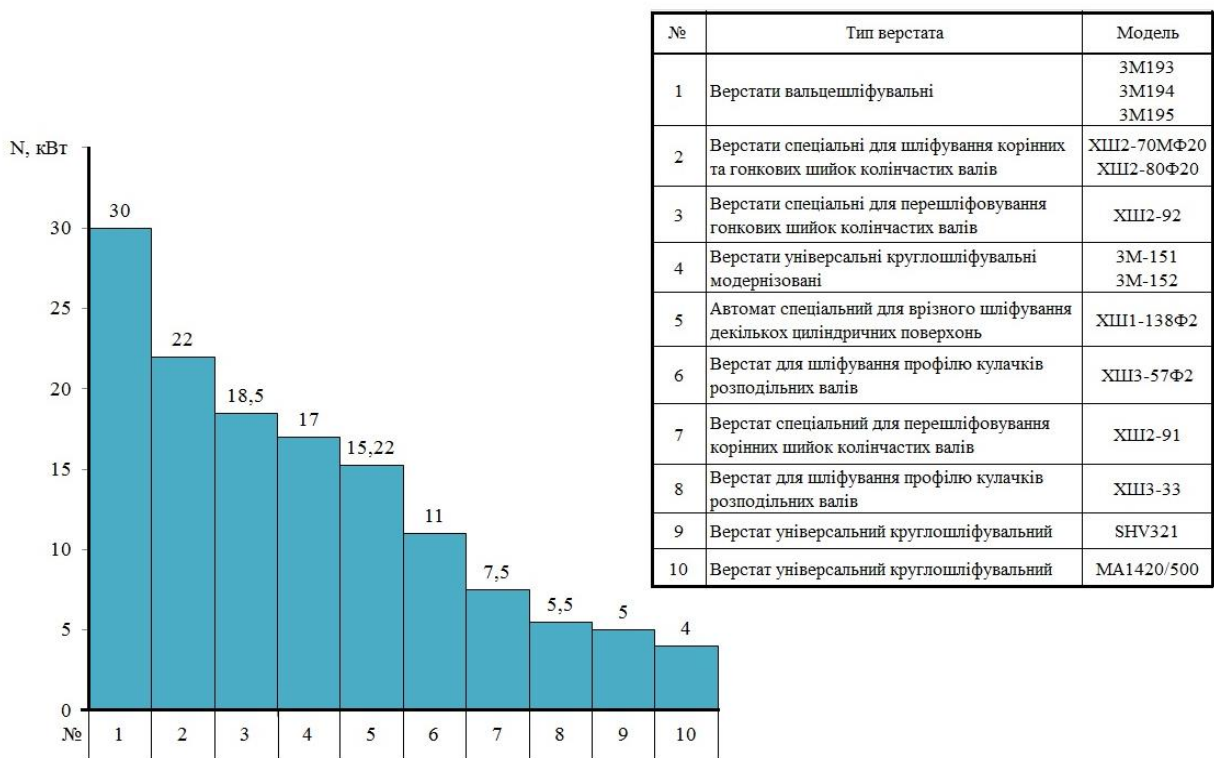


Рис. 6 – Потужність електродвигунів приводу обертання шліфувального круга

Відомо [7], що при шліфуванні практично вся потужність мікрорізання перетворюється у теплову енергію і лише незначна її частка (десяті долі відсотку) перетворюється у приховану енергію зміни кристалічної решітки оброблюваного матеріалу. В цих умовах можна вважати, що головною задачею є зменшення ефективної потужності шліфування, і відповідно, зниження інтенсивності основного джерела тепла, а також застосування менш потужних

електродвигунів.

Як правило, для вирішення цієї проблеми шліфування виконують на оптимальних режимах різання, застосовують ефективні МОР, тощо. Ці заходи вживають для збереження різальної здатності шліфувального круга, яка в процесі різання зменшується, що спричиняє збільшення сили різання та кількості тепла, яке генерується у процесі обробки.

Висновки.

Енергоємність є одним із основних економічних показників при порівняльній оцінці технологічних процесів механічної обробки, причому найбільш енергоємним процесом є абразивна обробка. За рівної продуктивності рівень енергетичних показників процесу може визначатися поєднанням режимів шліфування. Збільшення продуктивності обробки диктує застосування енергонасиченого устаткування, що завжди виправдано з метою забезпечення точності шліфованих деталей. Оснащення верстатного обладнання потужнішими приводами може погіршити теплову обстановку, що призведе до збільшення температурної деформації (зміщення деталей і вузлів щодо один одного) і негативно позначиться на параметрах точності шліфованих деталей (точності розміру, точності геометричної форми).

Список літератури:

12. Energy consumption reduction technology in manufacturing – A selective review of policies, standards, and research / Int. J. Precis. Eng. Manuf. // C.W. Park, K.S. Kwon, W.B. Kim, B.-K. Min and others, 2009, – № 10. – pp. 151–173. DOI: 10.1007/s12541-009-0107-z
13. Подураев В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов / В. Н. Подураев. М.: Машиностроение, 1974. – 615 с.
14. Energy Prediction Models and Distributed Analysis of the Grinding Process of Sustainable Manufacturing / Micromachines // Y. Tian, J. Wang, X. Hu, X. Song, J. Han, J. Wang, 2023. – № 14, 1603. DOI: 10.3390/mi14081603
15. An Investigation into Fixed Energy Consumption of Machine Tools / Globalized Solutions for Sustainability in Manufacturing // W. Li, A. Zein, S. Kara, C. Herrmann, Berlin, Heidelberg: Springer. – 2011. – pp. 268–273. DOI:10.1007/978-3-642-19692-8_47
16. Якимов А.В. Теплофизика механической обработки. М.: Машиностроение, 1975. – 175 с.
17. Гидроприводы и гидропневмоавтоматика станков / Под ред. д-ра техн. наук В. А. Федорца.— К. : Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 375 с.
18. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.

References (transliterated)

12. Energy consumption reduction technology in manufacturing – A selective review of policies, standards, and research / Int. J. Precis. Eng. Manuf. // C.W. Park, K.S. Kwon, W.B. Kim, B.-K. Min and others, 2009, – № 10. – pp. 151–173. DOI: 10.1007/s12541-009-0107-z
13. Poduraev V. N. Rezanie trudnoobrabativalyemikh materialov / V. N. Poduraev. M.: Mashinostroenie, 1974. – 615 s.
14. Energy Prediction Models and Distributed Analysis of the Grinding Process of Sustainable Manufacturing / Micromachines // Y. Tian, J. Wang, X. Hu, X. Song, J. Han, J. Wang, 2023. – № 14, 1603. DOI: 10.3390/mi14081603
15. An Investigation into Fixed Energy Consumption of Machine Tools / Globalized Solutions for Sustainability in Manufacturing // W. Li, A. Zein, S. Kara, C. Herrmann, Berlin, Heidelberg: Springer. – 2011. – pp. 268–273. DOI:10.1007/978-3-642-19692-8_47
16. Yakimov A.V. Teplofizika mekhanicheskoi obrabotki. M.: Mashinostroenie, 1975. – 175 s.
17. Gidropivodi i gidropnevmoavtomatika stankov / Pod red. d-ra tekhn. nauk V. A. Fedortsya.— K. : Vishcha shk. Golovnoe izd-vo, 1987. – 375 s.
18. Reznikov A.N. Teplofizika protsessov mekhanicheskoi obrabotki materialov. – M.: Mashinostroenie, 1981. – 279 s.

Поступила (received) 06.02.2024

Відомості про авторів / About the Authors

Степанов Михайло Сергійович (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) 707-66-25. e-mail: mykhaylo.stepanov@khp.edu.ua.

Іванова Марина Сергіївна (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) 707-66-25; e-mail: maryna.ivanova@khp.edu.ua.

Літовченко Петро Іванович (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>, тел. 063-141-65-97, e-mail: piliovchenko1950@gmail.com.

Іванова Лариса Петрівна (Larysa Ivanova) – старший викладач кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6136-6191>, e-mail: larisanangu@gmail.com.

Скидан Наталія Павлівна (Skydan Nataliia) – старший викладач кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8265-5611>; тел.: (057) 707-66-25; e-mail: nataliia.skydan@khp.edu.ua.