

УДК 621.9

*Олександр Космач, Сергій Сапон, Вячеслав Безручко, Дмитро Федориненко***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРИВОДА
ВЕРСТАТІВ НА ДОПОМІЖНИХ ПЕРЕХОДАХ***Александр Космач, Сергей Сапон, Вячеслав Безручко, Дмитрий Федориненко***ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИВОДА
СТАНКОВ НА ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДАХ***Alexandr Kosmach, Serhii Sapon, Viacheslav Bezruchko, Dmytro Fedorynenko***EXPERIMENTAL EVALUATION OF ENERGY EFFICIENCY OF MACHINE
TOOL DRIVE ON AUXILIARY TRANSITIONS**

Проведено експериментальні дослідження енергетичних процесів приводу головного руху прецизійного токарного верстата зі шпинделем на гідростатичних опорах у режимі допоміжних переходів, що дозволило встановити найбільш впливові фактори та їх ступінь впливу на загальне енергоспоживання верстата. Отримані результати досліджень дозволяють виявити шляхи мінімізації енергоспоживання приводом головного руху верстата та можуть бути використані під час розроблення автоматизованих систем керування верстатом.

Ключові слова: верстат, двигун, енергія, потужність, споживання, обертання, привод.

Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 5.

Проведены экспериментальные исследования энергетических процессов привода главного движения прецизионного токарного станка со шпинделем на гидростатических опорах в режиме вспомогательных переходов, что позволило установить наиболее влияющие факторы и их степень влияния на общее энергопотребление станка. Полученные результаты исследований позволяют выявить пути минимизации энергопотребления приводом главного движения станка и могут быть использованы при разработке автоматизированных систем управления станком.

Ключевые слова: станок, двигатель, энергия, мощность, потребление, вращение, привод.

Рис.: 5. Табл.: 1. Библ.: 5.

The experimental researches of energy processes for main motion drive of the precision lathe with the spindle on hydrostatic bearings on auxiliary transition were performed. It is has allowed to establish the most influencing factors and their degree of influence on the overall energy consumption the machine tool. The results of studies that have been received, allow to identify ways of energy consumption minimization by main movement drive of the machine tool and can be used in the development of automated control systems machine tool.

Key words: machine tool, energy consumption, power, rotation, drive, auxiliary transition.

Fig.: 5. Tabl.: 1. Bibl.: 5.

Постановка проблеми. Проблема ефективного використання різних видів енергії та енергоносіїв для виробництва є актуальною для світової економіки, враховуючи сучасні економічні, геополітичні процеси та стан екології. Особливої актуальності ця проблема набуває в індустріальній галузі, яка потребує використання значної кількості різних видів енергії, зокрема електричної. Особливу складність цієї проблеми для більшості виробничих галузей України можна пов'язати з використанням, у першу чергу, застарілих енергомістких технологій та обладнання, недостатнім рівнем автоматизації технологічних процесів виробництва, низькою гнучкістю виробництва, а також низьким рівнем впровадження енергетичного менеджменту. Зазначені вище обставини призводять до істотного зростання собівартості продукції та зниження її конкурентоспроможності перш за все на зовнішніх ринках збуту. Крім того, зростає негативний вплив на навколишнє середовище, а також додаткове високе споживання викопних енергоресурсів, які в основному використовуються для виробництва електричної енергії в Україні.

Застосування в технологічних процесах механічної обробки та переробки сировини верстатів, а також рухомих механізмів та машин з електричними приводами вимагає пошуку шляхів підвищення ефективності їх функціонування, яка характеризується відношенням спожитої електричної енергії до корисної механічної роботи. Тому зниження енергоспоживання приводів верстатів, машин та механізмів є важливою та актуальною науковою проблемою, вирішення якої має надважливу практичну значущість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання електричних стандартів та вимог до способів і засобів транспортування виготовленої продукції посприяло достатньо низькому коливанню енергетичних витрат виробництва в цьому секторі, які на сьо-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

годні коливаються в межах 1...2 порядків. При цьому споживана ефективна потужність обладнання індустріального сектору знаходиться в межах 5...50 кВт [1]. Слід зазначити, що властивості різних видів матеріалів, зокрема твердість, міцність, відхилення від форми, а також шорсткість поверхонь можуть коливатися в межах 10 порядків. У зв'язку з цим важливою складовою сучасних виробничих технологій є не тільки мінімізація часових витрат на виготовлення продукції, але й мінімізація загальних енергетичних витрат, які пов'язані з усіма етапами переробки сировини до стадії кінцевого виробу, включаючи транспортування та зберігання.

Аналіз основних джерел споживання енергії та шляхи підвищення енергоефективності обробних верстатів докладно розглянуто в [2]. Зазначено, що важливою характеристикою споживання електроенергії металообробного обладнання є його загальний коефіцієнт корисної дії. Так, наприклад, для верстатів нормальної точності за умови стабільного налагодженого процесу різання лише близько 20 % спожитої верстатом електричної енергії витрачається на механічну обробку матеріалу, що є критичним з погляду економії енергоресурсів.

Згідно з результатами [3] значний вплив на споживання електроенергії у процесі механічного оброблення чинить привод головного руху верстата (у межах 30 %) і допоміжних верстатних вузлів (до 60 % від загального споживання електроенергії). Також зазначено, що на верстатах з числовим програмним керуванням споживання електричної енергії формують вузлами, зокрема шпindelним, разом із витратою енергії для мащення механізмів й охолодження робочих рідин варіюється у діапазоні від 50 до 70 % залежно від умов обробки. Це викликано значними втратами енергії на передачу механічного руху між двигуном та робочим органом верстата.

Серед закордонних наукових центрів і виробників на сьогодні для підвищення енергоефективності та продуктивності верстатів превалює тенденція використання малов'язкого мащення гідравлічних опор шпindelів малої довжини. Наприклад, фірмами Fischer та Ibag North America (США) створені та успішно випробувані фрезерні головки на потужність до 4 кВт з частотою обертання до 30 000 хв⁻¹, шпindel яких встановлений на гідростатичні опори з водяним мащенням. Фахівцями Cranfield Precision (Великобританія), Moore Tools (Швейцарія) розроблена серія високошвидкісних шпindelних вузлів з водяним мащенням опор, частотою обертання до 100 000 хв⁻¹ і потужністю на шпindelі до 2 кВт. Слід зазначити, що існуючі технічні рішення використовуються виключно для малонавантажених шпindelів, які призначені для надання головного руху різання інструменту. Це суттєво обмежує технологічні можливості верстатів.

Існування суперечності між одночасним забезпеченням показників точності, продуктивності та енергоефективності верстатів відзначається в роботі [1]. Подолання зазначеної суперечності у майбутньому дозволить створювати верстати нового покоління з на порядок вищими показниками призначення та ефективності експлуатації.

Розглядаючи загальну структуру верстата можна відокремити деякі узагальнені шляхи зменшення витрат електроенергії під час оброблення матеріалів. При цьому дуже важливою частиною дослідження енергоефективності металорізальних верстатів є виявлення та аналіз складових процесів, які призводять до споживання електричної енергії верстатом під час різання матеріалів, а також у режимі допоміжних переходів, які необхідні для виконання технологічних переходів процесу різання.

У зв'язку з цим дослідження енергоефективності металорізальних верстатів на допоміжних переходах є важливим і актуальним напрямком наукових досліджень [4].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.

У процесі дослідження енергоефективності обладнання найчастіше аналізуються енергетичні витрати, які виникають безпосередньо під час виконання технологічних переходів. Проте під час аналізу енергетичного споживання верстатів слід також вра-

ховувати допоміжні та холості ходи, які невід'ємно супроводжують процес різання та за тривалістю можуть суттєво перевищувати основний час обробки. Тому врахування зазначених обставин та визначення факторів, які впливають на енергетичне споживання верстата, зокрема привода верстата, на допоміжних переходах та їх подальший аналіз є достатньо актуальним завданням під час розроблення концепції підвищення енергоефективності більшості промислового обладнання.

Мета статті. Метою роботи є експериментальне визначення факторів, які впливають на енергетичне споживання привода головного руху токарного прецизійного верстата при допоміжних переходах, а також визначення діапазонів частот обертання привода верстата зі зменшеним та підвищеним енергетичним споживанням.

Виклад основного матеріалу. Дослідження енергоспоживання верстата на допоміжних переходах входить до узагальненої методики аналізу енергоефективності металорізального верстата. Вона включає в себе структурний аналіз досліджуваної модифікації верстата та виявлення його основних енергетичних потоків. Крім цього, кожний споживач електроенергії на верстаті повинен бути оцінений у режимі холостого ходу, а також при безпосередньому виконанні корисної роботи на верстаті.

Ключовим етапом методики дослідження є експериментальне визначення споживаної потужності за певний проміжок часу, а також виявлення окремих енергетичних потоків верстата W_n та його загальної споживаної потужності W_b на допоміжних переходах та під час виконання технологічних переходів обробки зразків-виробів при варіюванні режимами різання згідно з попередньо розробленим планом експерименту. Це дозволяє оцінити загальну енергоефективність верстата, а також окремих вузлів та систем, засобів передачі та перетворення енергії (приводи, насоси, гідравлічні чи електричні пристрої тощо).

Окремим етапом розробленої методики дослідження є вивчення факторів, які впливають на споживання електроенергії верстатом під час роботи на допоміжних переходах. Крім цього, визначення закономірностей зміни основних факторів, які впливають, дозволить визначити режими обробки матеріалів з найменшою та найбільшою енергоефективністю. Визначення вузлів та систем верстата з низькою енергоефективністю дозволяє в подальшому провести їх економічно обґрунтовану заміну або модернізацію.

У процесі дослідження енергоефективності обробних верстатів виникає необхідність у виявленні типових основних вузлів верстатів, що споживають енергію: двигуни, передавальні механізми, системи керування та перетворювачі енергії разом з виконавчими органами. Це дозволить розширити основні напрямки вирішення завдань, які пов'язані з підвищенням енергоефективності верстатів, а також більш широко оцінити вплив окремих факторів на енергоефективність промислового обладнання [5].

До одного з типових представників обробних верстатів, що містить велику кількість двигунів постійного та змінного струму різної потужності з незалежними системами їх керування, можна віднести прецизійний токарний верстат моделі УТ16А з гідростатичними опорами у шпindelьному вузлі. Електрична схема вимірювання електричного споживання привода токарного верстата УТ16А та його загальний вигляд представлено на рис. 1.

Для визначення споживаної потужності верстата на допоміжних переходах проводилася реєстрація енергетичного споживання двигуна постійного струму головного привода верстата в режимі реального часу. Визначення електричної потужності двигуна постійного струму проводилося з використанням двох прецизійних True RMS мультиметрів за диференційною схемою підключення. Один з мультиметрів використовувався для визначення напруги в обмотках збудження, а інший використовувався для визначення величини сили струму шляхом паралельного встановлення через лабораторний шунт та вимірювання в режимі постійної напруги. Величина похибки вимірювання мультиметрів становила в межах 0,08 %, а частота оновлення результатів становила

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5 Гц, що є достатнім для реєстрації часових проміжків близько 30 с. Опір шунта був вибраний з величини максимально можливого значення струму, який виникає при максимальному завантаженні двигуна постійного струму. Опір шунта був мінімальним та становив 5 мОм, номінальне заниження напруги – 75 мВ, діапазон вимірювання – 15...30 А, клас точності – 0,5.

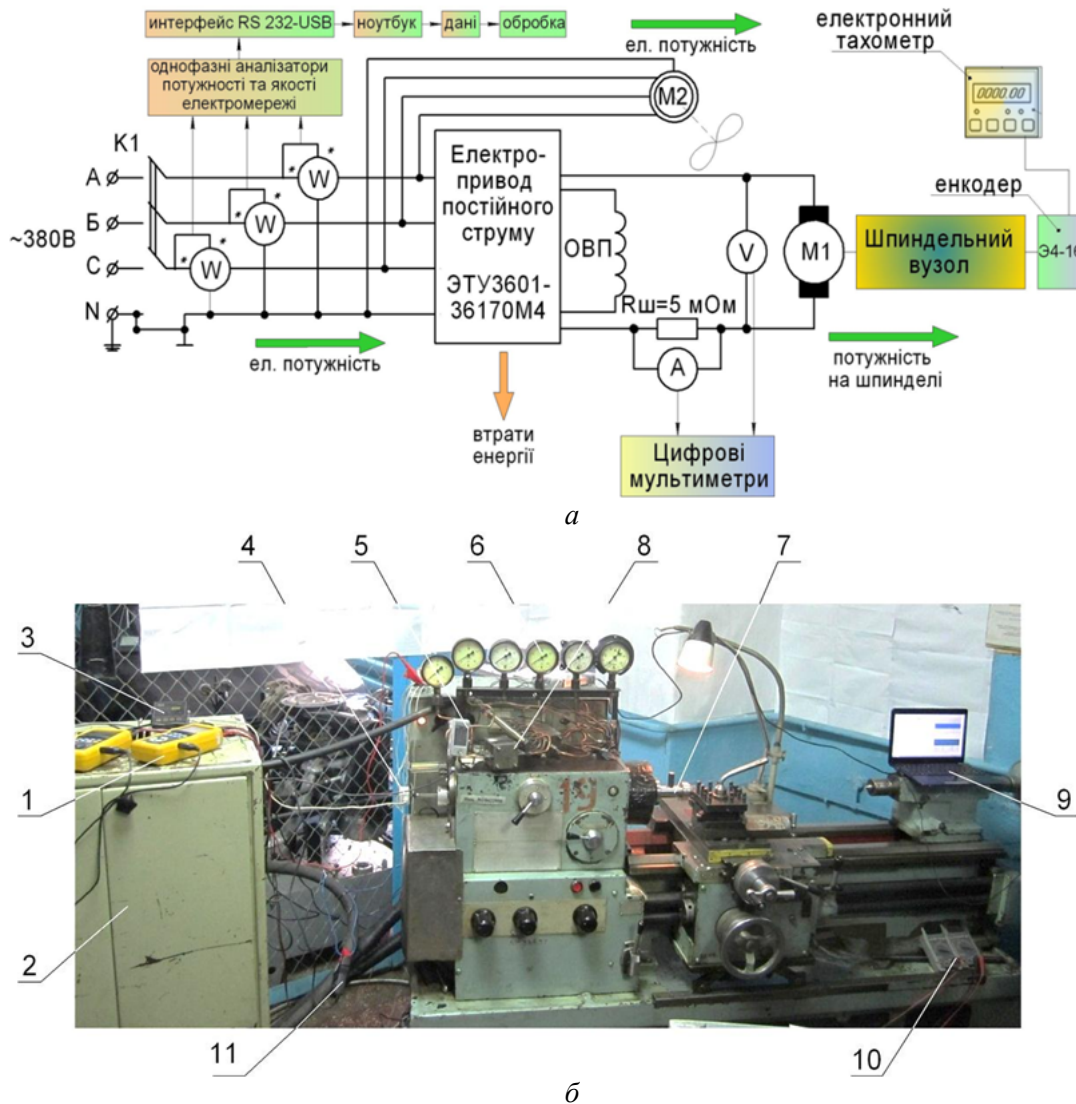


Рис. 1. Електрична схема вимірювання потужності, що споживає привод головного руху (а) та зовнішній вигляд верстата УТ16А (б): 1 – однофазні аналізатори якості електричної мережі; 2 – гідростанція системи живлення гідростатичних опор шпинделя з регуляторами тиску та потоку мастила; 3 – електронний тахометр; 4 – енкодер; 5 – цифровий температурний перетворювач; 6 – манометри для вимірювання тиску в опорах ковзання; 7 – оправка зі змінним дисбалансом; 8 – подільник потоку рідини; 9 – ноутбук; 10 – цифрові мультиметри; 11 – струмові кліщі

Отримані результати вимірювань через інтерфейс даних RS 232 передавалися на персональний комп'ютер. Спеціалізоване програмне забезпечення, яке використовується разом з мультиметрами на базі операційної системи Windows дозволяло проводити реєстрацію, зберігання, перетворення вхідних сигналів з подальшим виведенням на дисплей ПК у вигляді часових графічних залежностей у режимі реального часу.

У процесі дослідження енергоспоживання привода головного руху верстата в режимі холостого ходу враховувався вплив трьох технологічних факторів: n – частота обертання шпинделя верстата, $D_{ст}$ – статичний дисбаланс оброблюваної заготовки та (або) технологічного оснащення, яке закріплюється в (на) шпинделі, p – величина тиску в

операх ковзання. Слід відзначити, що ці фактори проявляються також й у процесі оброблення матеріалів різанням на верстатах. Частота обертання шпинделя верстата реєструвалася з точністю $\pm 0,05 \text{ хв}^{-1}$ за допомогою цифрового енкодера 1, моделі Э4-16, з'єднаного через пружину 3 та стакан 4 з вільним кінцем шпинделя 5 (рис. 2).

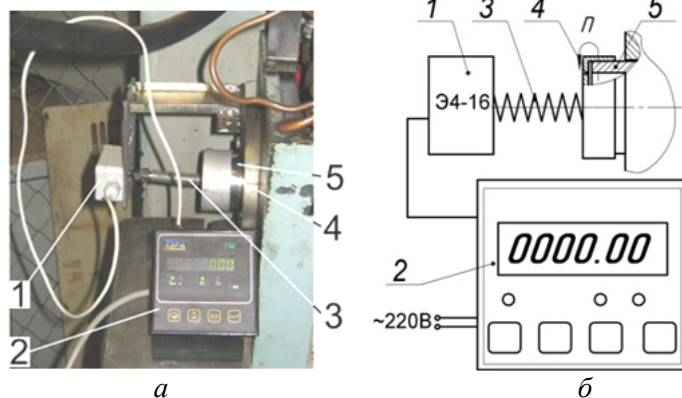


Рис. 2. Загальний вигляд (а) та принципова схема визначення частоти обертання шпинделя (б):
1 – енкодер; 2 – електронний тахометр; 3 – пружина; 4 – стакан; 5 – шпиндель

Для дослідження впливу статичного дисбалансу елементів технологічної системи на енергоспоживання привода головного руху верстата в різцевому отворі прецизійної оправки 7 (рис. 1) закріплювали змінні вантажі (рис. 3). Залежно від конструктивних характеристик змінного вантажу статичний дисбаланс $D_{СТ}$ визначали:

$$D_{СТ} = m \cdot e,$$

де m – маса вантажу, кг;

e – ексцентриситет центра мас (рис. 3, б), мм.

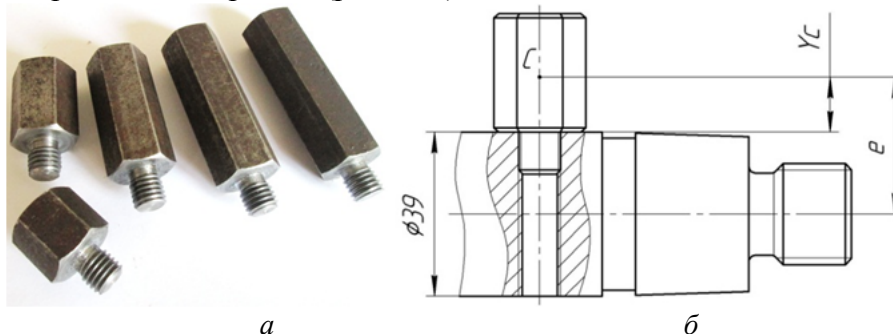


Рис. 3. Загальний вигляд змінних вантажів (а) та схема до розрахунку величини статичного дисбалансу (б)

Складовими доданками ексцентриситету e є радіус оправки R ($R=19,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$) та координати центра мас вантажу Y_C , які визначали за допомогою САD – системи КОМПАС-3D.

Тиск робочої рідини в карманах ГСО шпинделя встановлювали за допомогою регулятора потоку дросельного типу, а контролювали манометрами 6 (рис. 1) з точністю 0,1 МПа.

При описанні експериментальної області у випадках, коли відсутня апріорна інформація про поліноміальну модель об'єкта дослідження, з метою скорочення кількості експериментів доцільно застосовувати композиційні плани. В цій роботі застосовано ортогональне композиційне планування 2-го порядку. При цьому були виділені такі етапи планування експериментальних досліджень:

- збір та аналіз апріорної інформації про споживання електроенергії верстата в режимі допоміжних ходів;
- обґрунтування критерію ефективності досліджуваного процесу електричного споживання джерел верстата в режимі допоміжних ходів;

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- встановлення рівнів та інтервалів варіювання досліджуваних факторів (таблиця);
- визначення методів контролю параметрів (на основі вибраних метрологічних засобів вимірювання електричних величин);
- вибір типу математичної моделі (лінійно-квадратична модель з попарною взаємодією факторів);
- розроблення методики і плану (послідовність проведення) незалежних експериментів;
- розроблення схеми і методики випробування;
- визначення методу аналізу експериментальних даних;
- проведення експерименту та перевірка статистичних передумов для отримання даних;
- оброблення результатів отримання математичної моделі та її інтерпретація;
- заключні висновки за результатами оброблення даних.

Таблиця

Рівні та інтервали варіювання факторів

Інтервал варіювання і рівні факторів	Натуральні значення факторів		
	$n, \text{хв}^{-1}$	$D_{ст}, 10^{-6} \text{ г} \cdot \text{мм}$	$p, \text{МПа}$
Верхня «зіркова точка» (+1,215)	2720	6972	4,2
Верхній рівень (+1)	2500	6524	4,0
Нульовий рівень (0)	1500	4360	3,0
Нижній рівень (-1)	500	2219	2,0
Нижня «зіркова точка» (-1,215)	280	1748	1,8
Інтервал варіювання факторів	1000	2150	1,0

За встановленим планом експерименту проводилося триразове повторення експерименту в кожній точці плану для забезпечення збіжності вимірювань споживаної потужності W_{xx} у режимі холостого ходу за прийнятий часовий проміжок 40 с. Крім того, зазначені експериментальні дослідження додатково повторювалися в інший проміжок часу з метою підвищення достовірності результатів. Часовий проміжок реєстрації електричного споживання верстата був прийнятий за результатами розрахунку допоміжних дій робітника під час оброблення заготовок типу диск діаметром 80 мм та довжиною 20 мм в умовах дрібносерійного виробництва. Допоміжний час складався з підведення різального інструменту до оброблюваної поверхні заготовки, торкання різальної вершини різця до оброблюваної поверхні заготовки та встановлення необхідної величини глибини різання.

Спожита електроенергія привода головного руху верстата визначалася за залежністю:

$$E = W \cdot t,$$

де W – потужність електричних споживачів, кВт;

t – тривалість роботи привода головного руху, год (0,0111 год або 40 с з урахуванням прийнятих норм на налагодження верстата на заданий розмір обробки).

У результаті проведення експериментальних досліджень отримана закономірність електричного споживання привода верстата, яка описується функцією відгуку виду:

$$E_{xx}(n, D_{cm}, p) = 0,018055 - 4 \cdot n \cdot p \cdot 10^{-6} + 1,23 \cdot n^2 \cdot 10^{-7} - 0,005072 \cdot D_{cm} + 3 \cdot n \cdot D_{cm} \cdot 10^{-6}.$$

Слід зауважити, що для опису електричного споживання головного привода верстата може бути використана і миттєва потужність двигуна з урахуванням прийнятих однакових часових проміжків реєстрації експериментів.

Ступінь впливу окремої та попарної взаємодії прийнятих факторів представлено за допомогою карти Парето. На рис. 4 представлена карта Парето для відгуку функції електричного споживання привода головного руху в режимі допоміжних переходів. Вертикальна тонка лінія розділяє фактори та їх взаємодії, які мають значущість або не є значущими. При цьому якщо фактор перетинає вертикальну лінію, це означає, що фактор є значущим. Додатний знак для досліджуваних факторів означає прямий вплив на

електричне споживання, тобто що у разі зменшення діючих значень факторів вихідне значення електричного споживання приводу верстата також зменшується.

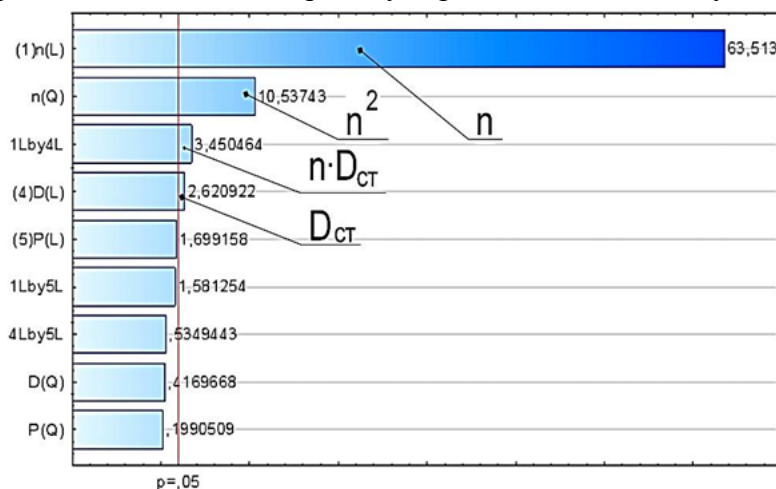


Рис. 4. Карта Парето впливу факторів на споживання електричної енергії приводу головного руху верстата УТ16А в режимі допоміжних переходів

З рис. 4 видно, що найбільший вплив на електричне споживання приводу головного руху верстата мають: частота обертання приводу головного руху; квадратична частота обертання приводу; добуток частоти обертання на дисбаланс, тобто імпульс сили від неврівноваженості обертових елементів технологічної системи.

Результати досліджень показують, що вплив величини тиску в опорах ковзання шпindelного вузла на електричне споживання приводу головного руху при допоміжних переходах практично відсутній. Слід зазначити, що зростання тиску в карманах опор шпindelного вузла призводить до збільшення його загальної жорсткості, проте як показують результати досліджень, вплив цього фактора на характер електричного споживання приводу головного руху практично відсутній або мінімальний для прийнятих меж дослідження факторів.

На рис. 5 наведено закономірність зміни споживаної електричної енергії приводу головного руху прецизійного токарного верстата залежно від частоти обертання n та дисбалансу заготовки D_{cm} під час виконання допоміжних переходів.

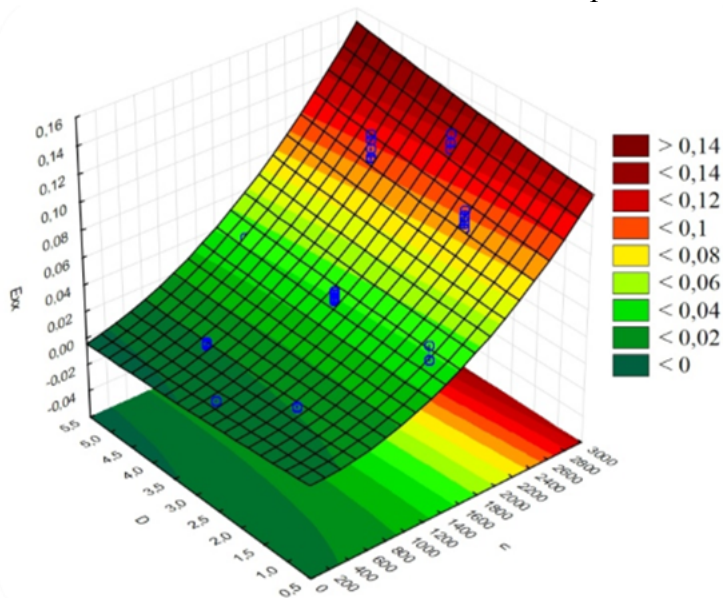


Рис. 5. Закономірність зміни споживаної електричної енергії приводу головного руху верстата залежно від частоти його обертання n та дисбалансу заготовки D_{cm} під час виконання допоміжних переходів

Вплив дисбалансу обертових елементів технологічної системи на підвищене енергетичне споживання може бути пов'язаний з появою додаткових динамічних та відцентрових сил, які сприяють додатковим механічним втратам в спряжених поверхнях рухомих елементів двигуна постійного струму, зокрема підшипникових вузлах.

Слід зауважити, що при подальшому підвищенні частоти обертання приводу головного руху характер впливу дисбалансу та величини тиску в опорах ковзання на енергоспоживання, безумовно, буде зростати. Особливо ця обставина буде актуальна для шпindelних вузлів, які працюють при великих швидкостях обертання.

У зв'язку з цим одним зі шляхів зменшення додаткового електричного споживання приводу головного руху на допоміжних ходах може бути реалізоване за рахунок встановлення на верстат збалансованих заготовок, які можуть бути відсортовані за групами або попередньо оброблені для мінімізації їх дисбалансу.

Висновки і пропозиції. Проведені експериментальні дослідження електричного споживання приводу головного руху в режимі допоміжних переходів дозволили встановити основні фактори та їх вплив на загальне енергоспоживання. Статистичне оброблення отриманих результатів досліджень дозволила класифікувати результати досліджень за різними групами, яким відповідають різне енергетичне споживання приводу головного руху в режимі холостого ходу верстата. Основним фактором, який впливає на найбільше споживання енергії верстатом у режимі допоміжних переходів, є частота обертання приводу головного руху, що характеризується квадратичною зростаючою залежністю. При цьому найменший вплив на споживання електричної енергії приводу головного руху верстата має тиск у карманах гідравлічних опор ковзання шпindelного вузла.

У разі збільшення частоти обертання шпindelного вузла верстата відбувається додатковий вплив дисбалансу обертових елементів технологічної системи на результуюче споживання електричної енергії приводу головного руху верстата зі шпindelем на гідростатичних опорах. З урахуванням сучасних концепцій розробки високооборотних шпindelних вузлів актуальним напрямком зменшення додаткового електричного споживання приводу головного руху верстата на допоміжних переходах є встановлення на верстат конструктивно зрівноважених заготовок, які можуть бути відсортовані за групами за мінімальним дисбалансом або попередньо оброблені для мінімізації його величини. При цьому для зменшення електричного споживання приводу головного руху верстата можуть бути використані алгоритми мінімізації частоти обертання шпindelля за відсутності процесів різання матеріалів.

Список використаних джерел

1. Gutowski, T. Electrical Energy Requirements for Manufacturing Processes / T. Gutowski, J. Dahmus, A. Thiriez // 13th CIRP International Conference of Life Cycle Engineering, Lueven, May 31st. – June 2nd, 2006. – Pp. 1–5.
2. Draganescu, F. Models of machine tool efficiency and specific consumed energy / F. Draganescu, M. Gheorghe, C.V. Doicin // Journal of Materials Processing Technology. – 2003. – Vol. 141. – Pp. 9–15.
3. Aspects of Energy Efficiency in Machine Tools [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.heidenhain.us/enews/stories_1011/MTmain.php.
4. Експериментальне оцінювання енергоефективності процесів механічного оброблення на верстатах / Д. Федориненко, О. Космач, В. Безручко, С. Сапон // Технічні науки та технології. – 2016. – № 2 (4). – С. 16–22.
5. Федориненко Д. Ю. Інформаційно-вимірjuвальний комплекс визначення електричного споживання асинхронних двигунів верстатів / Д. Ю. Федориненко, О. П. Космач // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 2 (78). – С. 70–75.

References

1. Gutowski, T., Dahmus, J., Thiriez, A. (2006). *Electrical Energy Requirements for Manufacturing Processes*. 13th CIRP International Conference of Life Cycle Engineering, Lueven, May 31st. June 2nd, pp. 1–5.
2. Draganescu, F., Gheorghe, M., Doicin, C.V. (2003). *Models of machine tool efficiency and specific consumed energy*. Journal of Materials Processing Technology, vol. 141, pp. 9–15.
3. *Aspects of Energy Efficiency in Machine Tools*. Retrieved from http://www.heidenhain.us/enews/stories_1011/MTmain.php.
4. Fedorynenko, D.Yu. Bezruchko, V.M., Kosmach, O.P., Sapon, S.P. (2016). Eksperymental'ne otsynuyannya enerhoeffektyvnosti protsesiv mekhanichnoho obroblennya na verstatakh [Experimental evaluation of energy processes of CNC machining]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 2 (4), pp. 16–22 (in Ukrainian).
5. Fedorynenko, D.Yu., Kosmach, O.P. (2015). Informatsiino-vymiryuvalniy kompleks vyznachennia elektrychnoho spozhyvannia asynkhronnykh dvyhuniv verstativ [Information and measuring complex for determination of power consumption of machine tools asynchronous motors]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky» – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 2(78), pp. 70–75 (in Ukrainian).

Космач Олександр Павлович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Космач Александр Павлович – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Kosmach Alexandr – PhD in Technical Sciences, Senior lecturer of Machine Building Technology and Wood Processing Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: alexkos86@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3380-1405>

Сапон Сергій Петрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування і деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Сапон Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Sapon Serhii – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Machine Building Technology and Wood Processing Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: s.sapon@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1082-6431>

Безручко Вячеслав Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри електричних систем і мереж, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Безручко Вячеслав Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры электрических систем и машин, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Bezruchko Viacheslav – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Electrical Systems and Machines Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: slavajm@meta.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3705-8543>

Федориненко Дмитро Юрійович – доктор технічних наук, професор кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

Федориненко Дмитрий Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

Fedorynenko Dmytro – Doctor of Technical Sciences, Professor of Machine Building Technology and Wood Processing Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: fdy1974@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3884-2698>