

УДК 621.9.06: 621.9.08: 621.797

О.О. Корнієнко, І.І. Верба

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Елементи дослідження операцій та прийняття рішень при модернізації верстата

Розглядаючи матеріально-технічну базу сучасних підприємств, можна дійти висновків, що обладнання більшості з них – це застарілі зразки, які, не дивлячись на свій вік, сумлінно працюють, але потребують заміни на нове, більш сучасне та модернізоване з врахуванням сучасних вимог, зокрема, точності, швидкохідності (тобто і продуктивності) і, чи не найперша вимога, – гнучкості.

Слід зауважити, що витрати на відновлення, осучаснення й модернізацію верстата не повинні перевищувати 50-60 % вартості нового верстата. Звісно, перш за все осучаснюють систему керування, але більш чи менш значних змін зазнають і окремі вузли та конструктивні елементи [7].

Модульний принцип, що його використовують у проектуванні сучасних верстатів, змінив і характер роботи конструктора, яка в багатьох випадках зводиться до обґрунтованого вибору комплектуючих – модулів з певними показниками й від певного виробника.

Не менш актуальною є проблема вибору комплектуючих вузлів у разі модернізації верстатів, зокрема з метою розширення технологічних можливостей чи підвищення гнучкості обладнання.

Щоб прогнозувати ефективність майбутнього верстату, треба врахувати значну кількість параметричних факторів. За відсутності системного підходу до проблеми модернізації наслідком є погіршення показників працездатності і втрата конкурентоздатності.

Перейшовши до огляду необхідної продукції, стикаємось з проблемою значної відмінності цін при майже однакових характеристиках. І тут для якісного та вірного рішення необхідно враховувати комплекс показників та певні критерії, адже із значної кількості альтернатив необхідно обрати кращу.

Для порівняльного оцінювання багатокритеріальних альтернатив у нагоді стануть методи системного аналізу з одночасним застосуванням підходів дослідження операцій та прийняття рішень [3, 4, 5]. Подібні задачі найчастіше не можуть бути формалізовані й вирішуються завдяки досвіду та вмінням експертів і особи, яка приймає остаточне рішення (рос. ЛПР). При виборі комплектуючих вузлів, зокрема й при модернізації, рішення часто приймають з врахуванням двох критеріїв – ефективність і вартість: ефективність досягнення мети й зусилля, яких це вимагає.

Для розширення технологічних можливостей обробного центру (типу IP 500 ПМФ4) пропонується оснащення поворотно-ділильним столом, тобто реалізація компоновки 3+2. Поворотний стіл є покупним модульним вузлом, який треба обґрунтовано обрати.

Столи поворотні (ротаційні) одно- та двохосьові (поворотно-ділильні) призначені для встановлення оброблюваної деталі та її повороту при обробці у позиційному або безперервному режимі. Замість заготовки у шпindelь поворотного стола можуть встановлюватися інструменти. Частота обертання стола має безперервне регулювання, а положення стола може бути задане позиційно. Поворотні столи розширюють технологічні можливості верстата і в ряді випадків конкурують із 5-координатними верстатами.

Сьогодні доступно багато інформації щодо різних досліджень поворотних столів, але більшість з них створюють лише нові запитання і тим самим ускладнюють пошук оптимальних рішень для модернізації виробництва. Але завжди бувають виключення. Наприклад, порівняння 5-ти та 3+2 координатних схем фірмою Lehman коротко та швидко дає відповідь (зрозуміло, що у першому наближенні) на те, що необхідно саме для даного типу виробництва – 5-ти координатна обробка чи 3+2 [6]. Також в [2] один абзац присвячений різниці координатних схем обробки. В більшості інформаційних джерел дані аналізуються під іншим кутом зору.

Таким чином, об'єкти аналізу – поворотні столи. При виборі фірм-виробників враховані функціональне призначення і конструктивні особливості (за наявності відповідної інформації), експлуатаційні параметри (за даними каталогів фірм-виробників), можливості придбання обраної продукції в Україні, а також наявність гарантійного й сервісного обслуговування.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика компоновок 5 та 3+2 [6]

| Показник | Верстат | |
|---|---|--|
| | 5 | 3+2 |
| Розмір робочого стола, мм | 500×500 – 620×620 | 800×400 – 1050×600 більший на 165%. |
| Площа верстата, м ² | 5 – 15 | 5 – 9,5 м ² , менша на 65%. |
| Маса верстата, т | 4,6 – 9,2 | 4,1 – 5,6 т, менша на 55%. |
| Витрати енергії (залежно від мас, які переміщують) | Важкий стіл | На 30% менші |
| Витрати на придбання | | Економія 25% |
| Одночасно встановлюють (затискають) на столі верстата | Затискають одну деталь, інший варіант економічно недоцільний | Кілька деталей або великогабаритні деталі на столі верстата |
| Системи затиску | Тільки спеціальні (обмежено конструкцією верстата) | Можливі різні або спеціальні |
| Обробка з багатьох боків | одна деталь; недоцільно, але можливо кілька деталей. | Кілька деталей, встановлених на столі верстата або у спеціальних патронах чи на планшайбах поворотних столів (можливо 4) |
| 5-тиосьова обробка | Великих деталей, іноді – середніх, дрібних – найчастіше неможливо | Дрібних та середніх деталей (коротким інструментом). Для великих деталей недоцільно |

Таким чином, об'єкти аналізу – поворотні столи. При виборі фірм-виробників враховані функціональне призначення і конструктивні особливості (за наявності відповідної інформації), експлуатаційні параметри (за даними каталогів фірм-виробників), можливості придбання обраної продукції в Україні, а також наявність гарантійного й сервісного обслуговування. Були проаналізовані поворотні столи виробництва 4-ох фірм, які є досить популярними та поширеними в Україні і характеризуються високими стандартами якості продукції. Це такі компанії як Haas Automation (США), UCAM GmbH (Німеччина), GSA plus (Тайвань) та Kitagawa (Японія).

Деякі зразки поворотних столів вказаних виробників наведені в табл.2.

Таблиця 2. Приклади поворотних столів [за каталогами фірм-виробників]

| Фірма | Приклади поворотних столів |
|-----------------------|--|
| Haas Automation (США) |  |
| UCAM GmbH (Німеччина) |  |
| GSA plus (Тайвань) |  |
| Kitagawa (Японія) |  |

При попередньому аналізі порівнювалися діаметри та діапазони діаметрів столів, швидкість обертання шпинделя, максимальний крутний момент (за винятком фірми GSA Plus, яка при замовленні надає клієнтам вибір між двигунами компаній Meldas, Fanuc, Siemens, Heidenhain та частково фірми UCAM GmbH, тож максимальні крутні моменти приймалися орієнтовно).

Інформаційне дослідження показало, що за вказаними параметрами всі розглянуті виробники виготовляють поворотні столи в майже однакових межах габаритів і крутних моментів.

Для прийняття остаточного рішення по модернізації верстата застосовано інтегральний показник якості. Порівнювалися наступні моделі – HRT 310 (HAAS Automation) [14], URH-321 (UCAM GmbH) [8], CNC-320 (GSA Plus) [13], MR320 (Kitagawa) [10, 11] за такими характеристиками: діаметр стола; максимальна швидкість обертання; максимальний крутний момент; діаметр отвору в шпинделі; передаточне відношення редуктора; точність ділення; вага; об'єм столу.

Окремо за показниками можна зробити наступні висновки.

- За діаметром столу найбільше виділяється UCAM URH-321 з діаметром столу 320 мм.
- Максимальна швидкість обертання шпинделя найвища у Kitagawa – 25 об/хв, а у HAAS найменша – 12,5 об/хв.
- За максимальним крутним моментом знову попереду Kitagawa, але GSA Plus та частково UCAM GmbH припускають встановлення різноманітних двигунів, то й логічно вважати дану можливість найкращим варіантом.
- Діаметр отвору в шпинделі, можливо, і не така важлива характеристика, але і вона потребує уваги: Kitagawa -105 мм, UCAM – 100 мм, HAAS – 82,55 мм, (напевно нестандартність пов'язана з дюймовою системою), Та найбільший діаметр у GSA Plus – 110 мм.
- Точність ділення – 15сек, але у столів Kitagawa – 20 сек.
- Вага: ось тут не з кращого боку виділяється GSA Plus з його 210 кг, коли в конкурентів менше за 200 кг. А от Kitagawa з масою в 135 кг можна сказати дивує.

- За відношенням маси до об'єму столи фірми Kitagawa найменші та найлегші на відмінну від інших розглянутих.

На рис.1 подані результати аналізу у графічній формі



а)



б)



в)

Рис.1 Інтегральні показники якості у графічному відображенні.

Розташування двигуна відносно стола (ліве, праве, верхнє, заднє) також відіграє одну з важливих ролей, адже компоновка верстата безпосередньо визначає можливість встановлення стола певної конфігурації на той чи інший верстат. В одиничних варіантах фірми UCAM, GSA Plus та Kitagawa дозволяють обирати розташування двигуна при замовленні, що значно розширює асортимент їх продукції. Відобразити цей параметр для використання у інтегральному показнику якості неможливо ні якісно, ні кількісно. Так само не оцінюється якість сервісного обслуговування (тільки факт наявності – при обранні фірми, будь-які статистичні дані відсутні, хіба що є власний досвід спілкування).

Зображено: а)–відносний інтегральний показник якості у відсотках до максимального з кожної групи параметрів; б)–вартість умовної одиниці інтегрального показника якості (вартість питомої ефективності), отримана для кожної фірми як сума часток від ділення $1/6$ ціни на її стіл [9, 12, 15] на кожний з показників; в)–спільна характеристика інтегральних показників якості з врахуванням умовної вартості отриманого ефекту.

За сукупністю ознак найкращими є виробники з Азії. Японська Kitagawa хоч і займає друге місце за дороговизною (\$18998), але ціна за одиницю характеристики є середньою. Взявши до уваги і найкращий показник характеристик отримуємо лідера GSA Plus: найдешевший (\$14937 з двигуном Siemens) та не з найкращими «характеристиками» займає місце за Kitagawa. UCAM (\$19518 з двигуном Fanuc) та другим місцем за характеристиками створює тільки ряд запитань. Дивує HAAS (\$15294): при одній з найменших цін за поворотний стіл, покупець заплатить найбільше за одиницю характеристики при не найгіршому показнику цих характеристик.

Хоча фірми-виробники і виготовляють, на перший погляд, майже однакові поворотні столи, але все ж таки відмінності присутні і можуть бути суттєвими для конкретного випадку. Інформація представлена виробниками щодо своєї продукції не завжди є вичерпною, вона не є стандартизованою чи нормованою за переліком необхідних показників та не є уніфікованою. Інформація щодо ціни взагалі є умовною і залежить не так від фірми, як від позиції постачальника та, звісно, репутації фірми-виробника та його продукції.

Вищевказана проблема ускладнює процес вибору рішень для модернізації обладнання [1], а в деяких випадках зводять нанівець застосування простого й доступного інтегрального показника якості як методу обрання рішення по модернізації. У літературних джерелах проблемам прийняття рішень, зокрема формулюванню критеріїв й багатокритеріальній оптимізації при виборі альтернатив, приділено немало уваги [4, 5, 7], але немає простої й доступної методики застосування у техніці, яка не потребувала б значного обсягу досліджень.

Висновки:

1. Порівняльне оцінювання поворотних столів за інтегральним показником якості показало, що для модернізації обробного центру IP500 ПМФ4 з розглянутих столів фірм-виробників Haas Automation (США), UCAM GmbH (Німеччина), GSA plus (Тайвань) та Kitagawa (Японія) найпридатнішим є стіл виробництва фірми Kitagawa (Японія), який має середню ціну умовної одиниці інтегрального показника якості, хоч в цілому не належить до дешевих. Вартий уваги стіл виробництва фірми GSA Plus: найдешевший (\$14937 з двигуном Siemens), але треба оцінити важливість показників працездатності для конкретного випадку, бо вони не є найвищими.

2. Для якісного вибору будь-яких модульних вузлів як комплектуючих необхідно проводити детальні та комплексні дослідження. Розробка методики, що містила б короткий, зрозумілий та простий у виконанні алгоритм і дозволяла б порівнювати альтернативні рішення хоча б у першому наближенні є нагальною потребою з огляду на те, яка значна кількість проблем вимагає порівняльного оцінювання, зокрема в умовах невизначеності умов та вимог.

3. При грамотному підході до модернізації та ремонту обладнання можливим є значне оновлення виробничих потужностей при відчутній економії коштів. Слід зауважити, що потребують підтримки й розвитку спеціалізовані ремонтні підприємства, які мають відповідне обладнання для якісного ремонту й модернізації і здатні виконувати певні проектні роботи на замовлення.

Список використаних джерел

1. Асанов, Р. Э. Выбор мехатронных модулей по их технологическому уровню / Р. Э. Асанов, М. Г. Косов, А. П. Кузнецов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – № 1 (25). – с. 68–75.
 2. Бурлаченко А.С., Мирошниченко В.Н. Высокоскоростная лезвийная обработка в машиностроении // Электронный вісник НУК – 2010 – №5.
 3. Верба І.І., Даниленко О.В. Дослідження операцій та прийняття рішень при модульному конструюванні верстатів /. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології промислового комплексу", випуск 3. – Херсон: ХНТУ, 2017. – с. 98–102.
 4. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения: Пер. с англ./Под ред. И.Ф. Шахнова. – М.: Радио и связь, 1981 – 560 с.
 5. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах: Учебник. – М.: Логос, 2000. – 296 с
 6. Поворотные столы с ЧПУ / 06.13–DOC 0194-1.pdf. – URL: lehmann-rotary-tables.com
 7. Verba I., Ph.D., Danylenko O., Yakhno A. Machine-building technical exclusion: trends, perspectives, ways // «Перспективні технології та прилади»: Збірник наукових праць, 2018, №12 – Луцьк: Луцький НТУ, 2018.-196 с – с. 23–29.
- Інформаційні ресурси – каталоги на сайтах фірм (дата звертання 03.05.2019):
- USAM GmbH (Німеччина)
8. <http://www.ucamind.com/product-category/5-axis-rotary-tables/>
 9. <https://hyfore.shop/cnc-rotary-table-urh-154>
- Kitagawa (Японія)
10. http://www.s-t-group.com/catalogs/stock/kitagawa/8_Pov_stol.pdf
 11. <http://www.directindustry.es/prod/kitagawa-europe-limited/product-88623-1493831.html>,
 12. <https://www.1mta.com/kitagawa-mr320-rotary-table>
- GSA plus (Тайвань)
13. <http://www.gsaplus.com.tw/e/pdf/products/2.pdf>
- Haas Automation (США)

14. <https://www.abamet.ru/catalog/metallorzhushhie/povorotnye-stoly/haas-trt100/>
15. <https://www.haascnc.com/content/haascnc/en/build-and-price/choose-options.HRT310.html>