

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ В ЦЕХАХ З ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ ДЛЯ ЗАГОТІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

Т. В. Гайкова, В. Д. Кулинич

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

ORCID: 0000-0002-6972-3210; 0000-0003-1702-2989

Сучасні тенденції розвитку машинобудівного виробництва пов'язані з такими критеріями оцінки діяльності підприємств, як кількість і якість продукції, що виготовляється різноманітної номенклатури з мінімальними тимчасовими і матеріальними витратами. Простежується проблема, яка полягає в тому, що широка номенклатура і одиничний випуск виробів не дозволяють накопичувати дані про технологічні процеси та ускладнюють оптимізацію технології виробництва, з огляду на відсутність відповідної системи планування. Традиційні системи планування, які підходять для великосерійного виробництва, застаріли і потребують змін і модернізації під вимоги підприємств малого бізнесу. Одним з варіантів вирішення завдання цехового планування є застосування MES-систем (Manufacturing Execution System, системи оперативного управління виробництвом), що враховують дані особливості. У зв'язку з цим, важливою і актуальною проблемою є розробка методів зниження часу переходу на новий виріб в цехах виготовлення оснащення для підвищення ефективності їх роботи в заготівельно-штамповочному виробництві з урахуванням широкої номенклатури виробів, одиничного випуску і частою зміною виробничої ситуації, і їх інтеграція з MES-системою, яка застосовується на виробництві. Отримано нові логічні зв'язки між техніко-технологічними та конструкторськими ознаками деталей, які послідовно запускаються у виробництво та інструментальним налагодженням, що здійснює комплекс робіт над об'єктом виробництва, що дозволяє знизити час простою обладнання за рахунок групування одиниць планування щодо спільності налагодження.

Ключові слова: механоскладальні цехи, технологічна оснастка, маршрут технологічного процесу, наладка обладнання, кластеризація

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Традиційно, підприємства великосерійного і масового виробництва привертють більше уваги дослідників за рахунок більш великих можливостей автоматизації технологічних процесів, ритмічності випуску продукції і жорсткою структуризації послідовності розташування робочих місць і ходу виконання обробки деталей [1]. Однак нинішні ринкові умови часто вимагають переходу до дрібносерійного або одиничного виробництва, що в свою чергу має на увазі потребу в здатності підприємства в найкоротші терміни адаптуватися до нових вимог ринку [2, 3]. Гнучкість управлінської структури і можливість оперативно перебудовувати виробничі процеси є перевагами малих і середніх підприємств машинобудування [4, 5].

За кордоном чітко простежується тенденція до збільшення частки підприємств малого бізнесу не тільки у виробництві вузькоспеціалізованої машинобудівної продукції, але і виробів загального призначення. Такі підприємства динамічно реагують на зміни вимог споживача до номенклатури і якості, створюють інноваційні виробничі процеси, що впливають на їх конкурентоспроможність. У таких країнах, як США, Великобританія, Німеччина і Канада, частка малого бізнесу у виробництві становить 40-70%, в той час як в Україні цей показник приблизно в чотири рази нижче [4].

Метою роботи є підвищення ефективності роботи в цехах виготовлення оснастки для заготівельно-штампувального виробництва на основі створення оптимального процесу переналагодження обладнання при зміні номенклатури оброблюваних деталей оснастки.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Коло завдань, що стоїть перед проектувальником, не обмежується тільки вмінням проектувати технологічні процеси; він повинен вирішувати весь комплекс питань, який пов'язаний з побудовою виробничого процесу. Для цього необхідно знати сучасні методи проектування механоскладального виробництва, які засновані на останніх наукових і технічних даних, а також принципи побудови автоматизованих виробничих процесів, що забезпечують високу продуктив-

ність і техніко-економічну ефективність. При проектуванні виробничого процесу, що протікає в механоскладальних цехах, особливу увагу слід приділяти взаємозв'язку етапів, в результаті яких виходить готовий виріб, кількісних і якісних змін об'єкта виробництва, а також основних і допоміжних виробничих систем і сукупності ітерацій при проектуванні.

Основним завданням оперативно-календарного планування є побудова чіткої послідовності виконання технологічних і допоміжних операцій на заданому інтервалі часу в межах виробничого цеху, дільниці чи іншого комплексу обладнання [2, 3]. Така послідовність називається розкладом роботи обладнання [6].

Складання розкладів може бути автоматизовано за допомогою інформаційних технологій, таких як MES-системи, які ініціюють, відстежують, оптимізують, документують виробничі процеси від початку виконання замовлення до випуску готової продукції. Однак, в роботі [7] говориться про необхідність використання методик виробничого планування, що враховують реальний стан виробництва, і інтеграції їх з іншими системами планування виробництва, що, як показує дослідження [8], є складним процесом.

Традиційні системи планування, які використовуються на механообробному виробництві, мають ряд недоліків [9]: тривалість термінів опрацювання плану; недостовірні терміни виготовлення деталей; відсутність опрацьованого за термінами виробничого плану дільниці; некоректний розподіл номенклатури на ділянках; розподілом завдань на робочих місцях займається майстер; неможливо визначити незавершене виробництво; неоптимальне завантаження цехового обладнання; відсутня інформація про наявність технологічної оснастки; неможливо в короткий термін отримати дані про фактичну готовність деталей.

Впровадження MES-системи дозволить оптимально завантажити цехове обладнання, знизити час його простою, скоротити обсяги незавершеного виробництва.

Деталі, які надходять на робочі місця, прийнято називати одиницями планування.

Графічну інтерпретацію розкладів прийнято представляти у вигляді діаграми Ганта. На рисунку 1 за допомогою такої діаграми представлена гіпотетична ситуація на ділянці з трьома робочими місцями, на якому позначені: q_i – технологічна операція для одиниці планування; N_k – робоче місце; $t_{пер}$ – втрата часу, що пов’язано з переналагодженням верстату N_k при надходженні нової одиниці планування; $t_{но1}$ – запас часу в горизонті планування; $t_{пнс}$ – втрата часу, який зменшений за рахунок надходження одиниці планування q_3 , має схожість з попередньою переналадкою; $t_{пнс2}$ – втрата часу, який зменшений за рахунок надходження одиниці планування q_4 , має схожість з попередньою переналадкою.

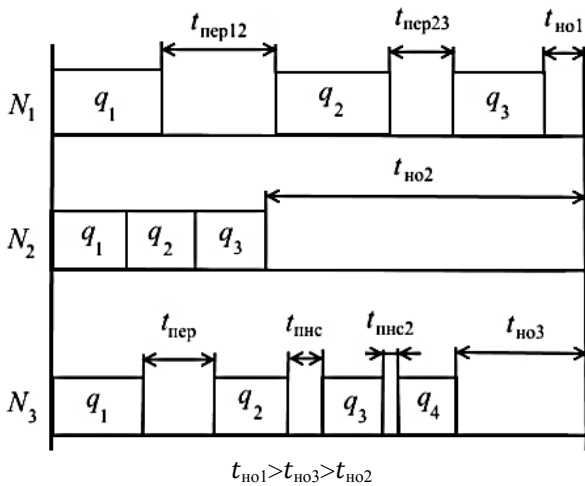


Рисунок 1 – Варіанти розкладу ділянок з комплексом переналадок

У першому випадку на робочому місці N_1 після кожної технологічної операції проводиться повне переналагодження для виконання наступної операції.

Так, час простою верстата в даному випадку найбільший, а запас часу в горизонті планування – найменший. На другому робочому місці проводяться технологічні операції над однаковими одиницями планування, які не вимагають переналагодження: простій верстата мінімальний, а запас по горизонту планування $t_{но2}$ має найбільше значення. Цей варіант вимагає ідентичності, що виготовляється, проте в широко номенклатурному виробництві він неможливий, так як вироби унікальні і не ідентичні. На робочому місці N_3 вироби запускаються у виробництво в послідовності, яка обумовлена спільністю налагодження. Таким чином, частина технологічного оснащення, що використовується для виготовлення попередньої одиниці планування, використовується також і при виготовленні одиниці планування на операції q_2 , тоді час переналагодження знижується до $t_{пнс}$.

Перший варіант не є оптимальним з точки зору оперативного календарного планування, другий варіант є ідеалізованим і неможливим на даному виді виробництва, тому третій варіант можна вважати найкращим і бажаним. Прийти до цього варіанту можна за допомогою виявлення схожості переналагодження в операціях для виробництва номенклатури виробів і визначення оптимальної послідовності їх запуску у виробництво. Багато MES-системи ма-

ють критерій мінімальної кількості переналадок обладнання для складання цехового розкладу, однак при цьому не враховується тривалість переналадки, яка може значно варіюватися в залежності від послідовності запуску деталей в виробництво.

Белов Ю. С. і Вершинін В. Є. [10] пропонують використання групової технології обслуговування для значного зниження витрат на переналагодження, однак цей підхід непридатний в умовах інноваційного виробництва, так як відсутня чітко відпрацьована технологія виготовлення виробу, що виготовлюється в одиничному екземплярі. В роботі наголошується на необхідності використання автоматизованого складання розкладів.

Miin-Shen Yanga, Wen-Liang Hung, Fu-Chou Cheng [11] пропонують використання групової технології та нечіткої кластеризації для створення виробничих ділянок і деталей. Не згадується метод отримання конструктивних ознак деталей для створення бази даних для алгоритму кластеризації. Запропонований метод збільшить продуктивність, має застосування лише при надходженні великої кількості замовлень одноразово, без можливості внесення змін до процесу виконання.

Оснащення, що виготовляється в цехах заготівельного виробництва, складається з різноманітних конструктивних елементів, різних чином зорієнтованих в просторі і має високі вимоги щодо точності їх взаємного розташування [12]. На практиці в більшості випадків для кожної нової корпусної деталі розробляються індивідуальні технологічні процеси. Ухвалення проектних технологічних рішень часто ґрунтується на досвіді та інтуїції проектувальника.

Для верстатів з ЧПУ, процес обробки на яких здійснюється автоматично, всі умови виконання операції (вибір ріжучого інструменту, послідовність обробки) повинні бути задані так само, як для автоматичних верстатів, і занесені на програмою. Робітник практично позбавлений можливості втручатися в процес обробки. При багатомономенклатурному виробництві характері дрібносерійного і серійного виробництва доцільно використовувати відносно невелику номенклатуру універсального інструменту. Скорочення номенклатури інструменту, що використовуємо, знизить кількість можливих варіантів інструментальної наладки, скоротить як час процесу переналагодження, так і час прийняття рішення MES-системою. Інструменти верстатів з ЧПУ працюють в складі інструментальних магазинів і замінюються за мірою зносу.

1. У велико-номенклатурному виробництві з одиничним випуском виробу, прикладом якого є виробництво оснастки заготівельно-штампувального виробництва, резерв збільшення ефективності виробництва без значних матеріальних вкладень на модернізацію або автоматизацію обладнання лежить в зниженні часу переходу на новий виріб. На сьогоднішній день немає методики оптимізації механізму запуску у виробництво, що враховує всі особливості даного виду виробництва.

2. Існуючі методики уніфікації інструментальної наладки базуються на принципі конструктивної подібності виготовлених деталей і враховують лише типорозмір інструменту, не беручи до уваги такі параметри, як виліт кінцевого інструмента і похибки оброблюваного контуру.

Зниження часу переходу на новий виріб у цеху виготовлення оснащення заготівельно-

штампувального виробництва можна домогтися шляхом запуску деталей у виробництво в послідовності, яка передбачає мінімальний час переналагодження верстата між двома деталями, що послідовно запускаються. Для групування деталей за техніко-технологічними ознаками, таким як необхідний інструмент, пристосування, метод кріплення, і габарити, необхідно скласти класифікатор продукції, що виготовляється, та встановлює логічні зв'язки між конструктивними і техніко-технологічними ознаками деталей.

Послідовність запуску у виробництво може бути сформована за допомогою кластеризації [13]. Однак в умовах нерівнозначності категорій техніко-технологічних ознак має сенс модифікувати алгоритм модулем пріоритетів. Даний підхід може бути інтегрований в MES-систему, яку використовують на виробництві.

Для досягнення мінімального часу переналагодження, критерієм оптимальності вважаємо першочерговість обробки одиниці планування, що має мінімум змін в налагодженні.

У результаті аналізу деталей, що виготовляються в цеху металевого оснащення, було виділено ряд класифікаційних ознак. Вони дозволили охарактеризувати всі вироби за класами, які включають в себе: основні конструктивні елементи і функціональні модулі; необхідність багатокоординатної обробки; кількість установ; інструмент, що застосовується. На додаток, для кожного класу був привласнений унікальний код, який входить в позначення кожної деталі даного класу.

Так, деталі, близько розташовані один до одного в класифікаторі, будуть мати більше спільних конструктивних ознак, тобто мати більш подібну інструментальну наладку (рис. 2).

Маючи уявлення про конструктивні і технологічні особливості деталей, їх можна згрупувати по однорідності ознак за допомогою кластерного аналізу. Кластерний аналіз – це спосіб угруповання багатовимірних об'єктів, заснований на представленні результатів окремих спостережень точками в потрібному геометричному просторі. Логічні зв'язки між техніко-технологічними та конструктивними ознаками деталей і вимогам до налагодження верстата, дозволяють скоротити час простою обладнання шляхом групування одиниць планування по спільності переналагодження за допомогою кластерного аналізу.

Існуючі методики уніфікації інструментальної налашки базуються на принципі конструктивної подібності виготовлених деталей і враховують лише типорозмір інструменту, не беручи до уваги такі параметри, як виліт кінцевого інструмента та похибки оброблюваного контуру. Тому, виліт кінцевого інструмента є критерієм уніфікації налагодження.

Час простою складається не тільки з часу монтажу і демонтажу інструменту, але і часу завдання коректорів довжини інструменту [14]. При виконанні керуючої програми базова позиція шпинделя, що є перетином його торця і вісі обертання, визначається запрограмованими координатами. Обробка проводиться не від базової позиції, а кромкою ріжучого інструменту, що знаходиться на деякому відстані від базової точки шпинделя. Для того, щоб в запрограмовану координату приходила саме ріжуча кромка, необхідно визначити величину зсуву по осі Z.

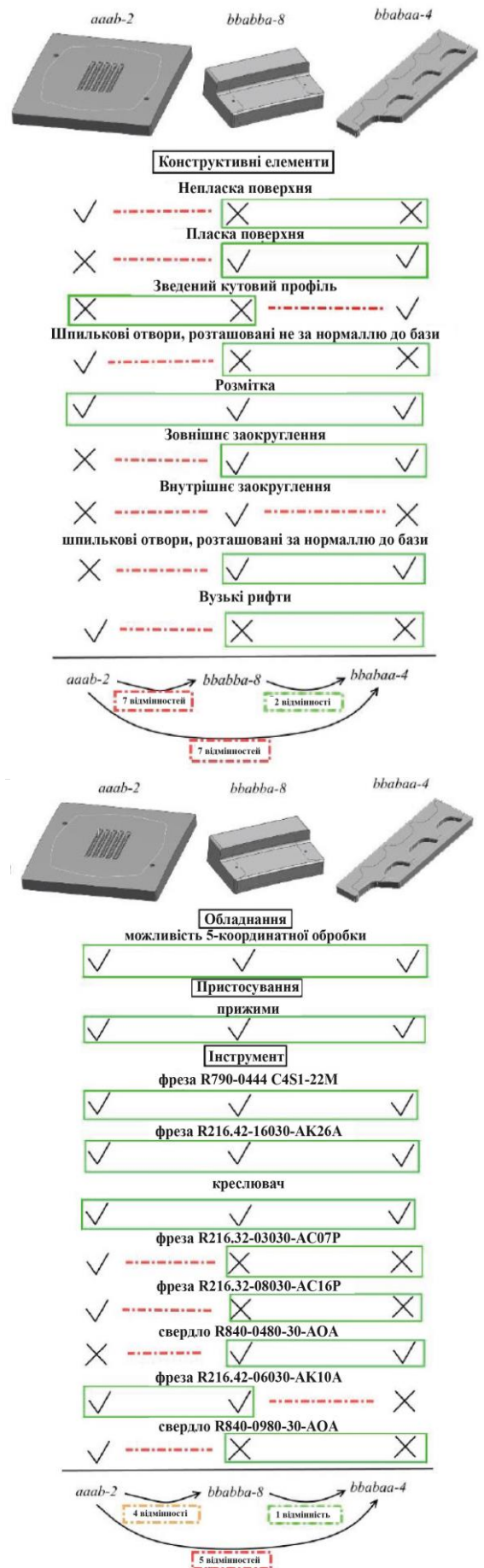


Рисунок 2 – Зв'язок між конструктивними ознаками та інструментальним оснащенням

Перед початком обробки оператор повинен виміряти довжину кожного з інструментів, що використовуються в програмі, і ввести числові значення довжин у відповідні регістри компенсації довжини інструменту або в таблицю інструментів. Відхилення від базової точки шпинделя на величину довжини інструменту називається компенсацією довжини інструменту. Кількість варіантів одержуваних довжин інструменту і відповідно компенсаторів зростає в залежності від номенклатури оснастки з ЧПУ.

Для досягнення ефективного видалення чорного припуску і забезпечення вимог щодо точності фрезерованої площини розробник керуючої програми прагне використовувати максимально можливий діаметр фрези при мінімальному її вильоті з патрона, але не завжди керується міркуваннями мінімізації різноманітності вильотів при однаковій номенклатурі інструменту, тобто уніфікацією. Так, в деяких випадках в інструментальному магазині потрібна наявність фрез з різним вильотом, наприклад, як призначать для фрезерування матриць, що може бути досягнуто застосуванням одного інструменту різних серій.

На рисунку 3 представлений мережевий графік процесу визначення вильоту та заміни інструменту в магазині, накреслений без масштабу часу. На графіку використовуються такі символи: i – номер події; $t_p(i)$ – ранній термін настання i -ї події; $t_n(i)$ – пізній термін настання i -ї події; $R(i)$ – резерв часу i -ї події.

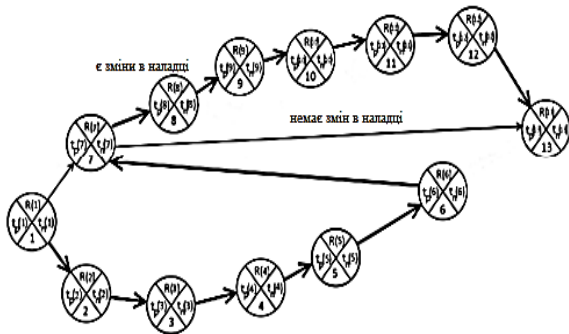


Рисунок 3 – Мережевий графік процесу заміни інструменту в магазині

Дії, які зазначені на мережевому графіку:

1. Проведення технологом циклу технологічної підготовки виробництва щодо поточної деталі;
2. Технолог проглянув відомість інструменту за попередньою деталлю, порівняв з поточною;
3. Виявив однакові інструменти, які можуть продовжувати працювати;
4. Прикинув довжину вильоту L на цей інструмент;
5. Перевірив величину відтиску і точність по номограмі;
6. Вніс зміни в карту наладки;
7. Початок корекції інструментальної наладки;
8. Оператор демонтував інструмент;
9. Установка подовжувача;
10. Перевірка вильоту;
11. Введення коректора довжини;
12. Монтаж інструменту;
13. Початок роботи верстата.

Як правило, шлях 1–2–3–4–5–6–7–13 за часом є коротше критичного шляху 1–2–3–4–5–6–7–8–9–10–11–12–13.

Шляхом хронометражу процесу переустановлення кінцевої фрези $\varnothing 10$ мм з установкою подов-

жувача та з регулюванням биття було отримано середній повний час виконання даної операції 7,5 хвилин.

Наявність класифікатора виробів, що виготовляються, дозволяє визначити типові значення вильоту інструменту, які необхідні для обробки елементів виробу. Уніфікувавши значення вильоту кінцевого інструмента у відповідності до типових значень висоти оброблюваного конструктивного елемента, є можливість позбутися від необхідності щодо зміни складу інструментальної наладки при переході на нову одиницю планування та завдання корекції вильоту інструменту по осі Z , тим самим досягнути необхідного зниження часу виробництва. Чим менше унікальна номенклатура інструментів, тим швидше виробництво може перебудуватися під нове замовлення [10].

Для збірного інструменту в якості додаткової міри щодо скорочення кількості типів інструменту в налагодженні слід розглянути уніфікацію змінних ріжучих пластин, їх вузлів кріплення і різцевих вставок. Доцільність використання інструменту з різним вильотом та необхідність зміни інструменту може бути оцінена за допомогою визначення віджимання інструменту на чорнових режимах обробки, що забезпечує задану точність.

При фрезеруванні рівнодіючу силу різання P розкладають на складові сили, що визначають процес різання і впливають на технологічні чинники. Наприклад, дотична сила P_z створює крутний момент на шпинделі верстата, за яким розраховується необхідна потужність. Це головна сила за своїм значенням. Друга складова – радіальна сила – P_y спрямована нормально до поверхні різання. Сила P_y викликає відтискання інструменту від заготовки і, отже, розмірну неточність обробки. Однак при контурній обробці дотична сила P_z викликає «запізнення», що в свою чергу викликає ще більші похибки форми (рис. 4). Внаслідок цієї особливості, розрахунок відтиску необхідно проводити щодо сили P_z , а не P_y . Необхідно підкреслити, що всі складові сили різання помітно змінюються залежно від таких чинників, як форма та геометрія фрези, розмір зрізу, гострота ріжучих кромок, матеріал, що оброблюється, МОР.

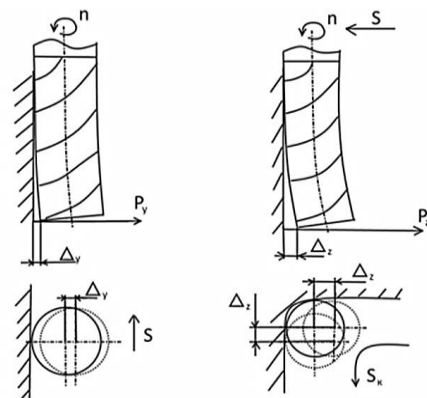


Рисунок 4 – Відтиск кінцевої фрези при обробці вертикальних профілів

Необхідні для аналізу значення згинальної сили P_z в діапазоні від 50 до 300 Н з кроком в 50 Н при варіюванні числа зубів фрези ($z = 2, 3$ і 4) можливими стандартними діаметрами ($D = 6-30$ мм) з урахуванням вильоту, коливається від 60 до 300 мм, і пов'язаної з ним довжиною ріжучої частини произво-

дять до такої кількості експериментальних комбінацій, які можна реалізувати тільки в ході імітаційного моделювання.

Підтвердимо збіжність результатів машинного кінцевого експерименту при визначенні пружних деформацій для прийнятого розміру і виду звичайно-елементної сітки. Для створеної в середовищі Siemens NX 8.5 модель сталевий (ρ = 7,829·10⁻⁶ кг / мм³; E = 206940000 кПа) консольної балки Ш20 мм і довжиною L = 300 мм була створена кінцево-елементна модель з 3D-тетраедраальною сіткою з розміром елемента 1,5 мм. На незакріпленій кінцевій балці була прикладена сила Q = 200 Н. Було отримано значення максимального відхилення f_{max} = 1,106 мм. Порівняємо отриманий результат з аналітичними розрахунками.

При розрахунку подібностей двох одиниць планування е ведеться облік пріоритетів.

$$A = n_p \cdot a \quad (1)$$

Ріжуча сила P_z обчислюється за формулою [15]:

$$P_z = C_{p1} \cdot D^{n_{p1}} \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^{n_{p2}} \cdot s^{n_{p3}} k_{p_m} \times \quad (2)$$

$$\times C_{p2} \cdot (HB)^{m_{p2}} \cdot C_{p3} \cdot z^{m_{p3}} \cdot C_{p4} \cdot B^{m_{p4}}$$

Фреза має різні поперечні перерізи впродовж своєї довжини, тому її необхідно розглядати як ступінчасту балку. Для отримання моменту інерції перетину ріжучої частини фрези були проведені розрахунки та отримані коефіцієнти приведення KI = 2,143 (при z = 2 і z = 4) і KI = 2,52 (при z = 3 як при суцільній, так і при збірній конструкції).

Використовуючи інтеграл Мора для розрахунку відтиску ступінчастої балки, отримуємо наступну формулу:

$$\Delta = \frac{P(L_{p_{i,jc}}^3(K_1 - 1) + L^3)}{3EI} \quad (3)$$

де P – сила різання; E – модуль пружності матеріалу фрези; D – діаметр фрези; L – виліт фрези з патрона; L_{p_{i,jc}} – довжина ріжучої частини фрези.

Підставивши розрахунок P_z (2) у формулу (1) і відповідні коефіцієнти, отримуємо розрахункову залежність відтиску фрези:

$$\Delta = \frac{21,8155 \cdot t^{0,57} \cdot s_z^{0,76} \cdot K_{p_m} \cdot (HB)^{1,1} \cdot z \cdot B}{E \cdot D^{4,45}} \times \quad (4)$$

$$\times (L_{p_{i,jc}}^3(K_1 - 1) + L^3)$$

Обґрунтовано введення в функціональну залежність відтиску кінцевої фрези від її геометричних параметрів, відношенням довжини вильоту до довжини ріжучої частини від 0,1 до 0,5 для врахування впливу неоднорідності поперечного перетину.

Залежність моменту інерції перерізу кінцевої фрези від кількості зубів визначається коефіцієнтом KI = 2,143 при z = 2 і z = 4 і KI = 2,52 при z = 3.

ВИСНОВКИ. Таким чином, виявлені логічні зв'язки між техніко-технологічними та конструктивними ознаками деталей і вимогам до налагодження верстата, які дозволили представити метод групування одиниць планування по спільності техніко-технологічних ознак: необхідне обладнання, пристосування і інструмент, за допомогою кластерного аналізу для зниження часу переходу на новий виріб та простою обладнання.

Модифіковано рівняння для визначення відтиску кінцевої фрези в напрямку тангенціальної сили рі-

зання з урахуванням неоднорідності перетину, особливості геометрії інструменту, і жорсткості верстата, що дозволяє уніфікувати інструментальну налаштування щодо вильоту кінцевого інструмента шляхом визначення відтиску і похибки оброблюваного контуру.

ЛІТЕРАТУРА

1. Балабанов А.Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя. Москва : Издательство стандартов, 1992. 464 с.
2. Бочкарев П. Ю. Системное представление планирования технологических процессов механообработки. *Технология машиностроения*. 2002. № 1. С. 10–14.
3. Бочкарев П. Ю., Васин А. Н. Планирование технологических процессов в условиях многономенклатурных механообработывающих систем. Теоретические основы разработки подсистем планирования маршрутов технологических операций : учеб. пособие. Саратов: СГТУ, 2004. 136 с.
4. Ольвінська Ю. О. Основні напрями підвищення ефективності функціонування суб'єктів підприємницької діяльності. *Формування ринкових відносин в Україні*. 2013. №12. С. 167–171.
5. Прохорова В. В., Давидова О. Ю. Організація виробництва : навч. посібник Харків : Вид-во Іванченка І.С., 2018. 275 с.
6. Загидуллин, Р. Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP : монографія. Старый Оскол : ТНТ. 2015, 372 с.
7. Herrmann J. W. The Perspectives of Taylor, Gantt, and Johnson : How to Improve Production Scheduling. *IJOQM*. Volume 16. Number 3. 2010. P. 243–254.
8. LaForge R. L., Craighead C. W. Manufacturing scheduling and supply chain integration: a survey of current practice. *American Production and Inventory Control Society*. 1998.
9. Габалис Е. Ю., Савкова Е. О., Жукова Т. П. Графовая модель планирования работы автоматизированного технологического участка механообработки деталей. *Збірка матеріалів II всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених* (11–13 квітня 2011 р., Донецьк). ДонНТУ. 2011. С. 49–53.
10. Белов Ю. С. Вершинин В. Е. Методы решения задач календарного планирования производства на малом промышленном предприятии. *Электронный журнал: наука, техника и образование*. 2015. № 4 (4). С. 47–56.
11. Miin-Shen Yanga, WenLiang Hung, Fu-Chou Cheng. Mixed-variable fuzzy clustering approach to part family and machine cell formation for GT applications. *Int. J. Production Economics*. 2006. № 103. P. 185–198.
12. Бондарь Д. В., Гайкова Т. В., Пузир Р. Г., Сучасні інноваційні технології механоскладального цеху. *Матеріали XXVIII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства»*, (26–27 квітня 2021 р., Кременчук). КрНУ. 2021. С. 41–43.
13. Мандель, И. Д. Кластерный анализ. Москва : Финансы и статистика, 1988. 176 с.
14. Everitt B. S., Landau S., Leese M., Stahl D. *Cluster Analysis : 5th Edition*. John Wiley & Sons, Ltd. 2011.
15. Кирилович В. А., Мельничук П. П., Яновський В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ : навч. посібник для студ.

IMPROVING THE WORK EFFICIENCY IN THE WORKSHOPS FOR THE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT MANUFACTURE FOR PROCUREMENT PRODUCTION

T. Haikova, V. Kulynych

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

ORCID: 0000-0002-6972-3210, ORCID: 0000-0003-1702-2989.

Purpose. The work purpose is to increase the efficiency in the manufacturing technological equipment shops for procurement and stamping production on the basis of creating an optimal process of reconfiguration of equipment when changing the range of machined parts of equipment. **Methodology.** Cluster analysis, as a way of grouping multidimensional objects, is based on the presentation of the results of individual observations by points in the required geometric space. Logical connections between technical-technological and constructive signs of details and requirements to adjustment of the machine. **Findings.** The classifier presence of manufactured products allows to determine the typical values of the tool output required for the product elements processing. By unifying the value of the end tool departure in accordance with the typical values of the workpiece height, it is possible to eliminate the need to change the tool setting composition when switching to a new planning unit and the task of the tool production time correcting. The smaller the unique range of tools, the faster production can be rebuilt for a new order. **Originality.** The introduction into the functional dependence of the end mill cutter on its geometrical parameters - the ratio of the departure length to the length of the cutting part from 0.1 to 0.5 to take into account the influence of cross-section inhomogeneity is substantiated. **Practical value.** Having an idea of the parts design and technological features, they can be grouped by the homogeneity of the features by cluster analysis to achieve a minimum of readjustment. **Conclusions.** Logical connections between technical-technological and structural details features and requirements to machine tool adjustment which allowed to present a method of planning units grouping on technical-technological features commonality, such as necessary equipment, devices and tools, by means of cluster analysis for reducing the transition time to a new product and, consequently, downtime. The equation for determining the end mill cutter in the tangential cutting force direction has been modified taking into account the cross section inhomogeneity, tool geometry, and machine rigidity, which allows to unify the tool setting for the end tool departure by determining the footprint and error of the machined contour. References 15, figures 4.

Key words: mechanical assembly shops, technological equipment, process route, equipment adjustment, clustering.

REFERENCES

- Balabanov, A. (1992). *Kratkij spravocnik tehnologa-mashinostroitelja* [Quick reference guide of a mechanical engineer]. Moskva: Izdatelstvo standartov, 464 p. [in Russian]
- Bochkarev, P. (2002). Systemnoe predstavlenie planirovaniya tehnologicheskikh processov mehanooobrabotki [Systemic representation the planning of machining technological processes]. *Mechanical engineering technology*. Vol. 1, pp. 10–14. [in Russian]
- Bochkarev, P., Vasin, A. (2004). Planirovanie tehnologicheskikh processov v usloviyah mnogonomenklaturnyh mehanooobrabatyvayushhih sistem. Teoreticheskie osnovy razrabotki podsistem planirovaniya marshrutov tehnologicheskikh operacij: uchebnoe posobie [Systemic representation the planning of machining technological processes]. Saratov, 136 p. [in Russian]
- Olvynska, Yu. (2013) Osnovni naprjami pidvishhennja efektyvnosti funkcionuvannja sub'ektiv pidpriemnic'koj dijal'nosti [The main direct adjustment of the efficiency of the function of the sub-business]. *Formation of market relations in Ukraine*. Vol. 12. pp. 167–171. [in Ukrainian]
- Prokhorova, V., Davydova, Yu. (2018). Organizacija virobniictva : navchalnij posibnik [Organization of production: a textbook]. Kharkiv, 275 p. [in Ukrainian]
- Zagidullin, R. (2015). Upravlenie mashinostroitel'nyh proizvodstvom s pomoshh'ju sistem MES, APS, ERP: monografija [Machine-building production management using MES, APS, ERP systems: monograph]. Stary Oskol, 372 p. [in Russian]
- Herrmann, J. W. (2010). The Perspectives of Taylor, Gantt, and Johnson: How to Improve Production Scheduling. *IJOQM*. Volume 16. Number 3. pp. 243–254.
- LaForge, R. L. Craighead, C. W. (1998). Manufacturing scheduling and supply chain integration: a survey of current practice. *American Production and Inventory Control Society*.
- Gabalis, Ye., Savkova, Ye., Zhukova, T. (2011). Grafovaja model' planirovaniya raboty avtomatizirovannogo tehnologicheskogo uchastka mehanooobrabotki detalej [Graph model for planning the work of an automated technological section of machining of parts]. *Collection of materials of the II All-Ukrainian Science and Technology Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists*. Donetsk, pp. 49–53. [in Russian]
- Bielov, Yu., Vershynyn, V. (2015). Metody reshenija zadach kalendarnogo planirovaniya proizvodstva na malom promyshlennom predprijatii [Methods for solving problems of production scheduling at a small industrial enterprise]. *Electronic journal: science, technology and education*. Vol. 4 (4), pp. 47–56. [in Russian]
- Miin-Shen, Yanga, WenLiang, Hung, Fu-Chou, Cheng (2006). Mixed-variable fuzzy clustering approach to part family and machine cell formation for GT applications. *Int. J. Production Economics*. № 103. pp. 185–198.
- Bondar, D., Haikova, T., Puzyr, R. (2021). Suchasni innovacijni tehnologii mehanoskladal'nogo cehu [Modern innovative technologies of mechanical assembly shop]. *Conference proceedings XXVIII international scientific conference of young scientists and researches «topical problems of vital functions of society» dedicated to the 100th anniversary of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi national university*, pp. 41–43. [in Ukrainian]
- Mandel, I. (1988). Klasternyj analiz [Cluster Analysis]. Moskva, 176 p. [in Russian]
- Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., Stahl, D. (2011). *Cluster Analysis: 5th Edition*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Kyrylovich, V., Melnychuk, P., Yanovskyi, A. (2001). Normuvannja chasu ta rezhimiv rizannja dlja tokarnih verstativ z ChPU: Navch. posibnik dlja stud. vishhih navch. zakladiv [Standardization of time and cutting modes for CNC lathes: A textbook for students of higher educational institutions]. Zhytomyr, 599 p. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 01.09.2021