

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИБОРУ СХЕМИ БАЗУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ КРОНШТЕЙН

Колос Віталій Олександрович

аспірант

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-3518-7146

v.kolos@tmvi.sumdu.edu.ua

Розвиток сучасних ефективних виробничих систем вимагає ретельного планування виробництва. У світовому машинобудуванні домінує багатокоординатне виробництво, яке характеризується широким асортиментом продукції, скороченням непродуктивного часу, впровадженням високоефективних оброблюваних центрів з числовим програмним керуванням (ЧПК), зменшенням кількості одиниць технологічного обладнання. Численність схеми базування заготовок деталей складної форми в умовах багатокоординатного оброблення на багатоцільових верстатах потребує обґрунтованого вибору схеми базування заготовки та висуває вимоги до проектування верстатних пристроїв. У сучасному машинобудуванні використання гнучких ВП є ефективним рішенням. Вони мають виробничі можливості, що дозволяють скоротити непродуктивні витрати часу, що в свою чергу сприяє підвищенню продуктивності. Гнучкість у сучасному виробництві стала ключовим фактором ефективності. Тому необхідно швидко здійснювати відбір оптимальних конфігурацій верстатних пристроїв для різних виробничих умов. Останні тенденції в машинобудівній галузі підтверджують, що в сучасних умовах жорсткої конкуренції, виробники продукції намагаються мінімізувати час виходу на ринок, але в свою чергу вимоги до їхньої точності та якості постійно зростають. Проектування та виготовлення гнучких верстатних пристроїв є актуальною проблемою планування виробництва для забезпечення високої продуктивності та гнучкості виробництва. В дослідженні розроблено структурно-функціональну модель процесу проектування гнучких верстатних пристроїв для багатокоординатного оброблення деталей типу кронштейни. Це дозволить встановити функціональні та інформаційні зв'язки між структурними підрозділами. Створено математичну модель автоматизованого вибору схеми базування верстатних пристроїв за конструктивними та технологічними особливостями. Важливим етапом проектування гнучких верстатних пристроїв є розроблення науково-теоретичних основ оптимального вибору компонентів верстатних пристроїв на основі відповідності заданим вимогам до точності, продуктивності, гнучкості та собівартості. Зазначені вище рішення покращать планування виробництва в машинобудівній, автомобільній та інших галузях.

Ключові слова: гнучкість, прийняття рішення, гнучкий верстатний пристрій, автоматизоване проектування, конструкторсько-технологічна класифікація.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.2.7>

Вступ. Сучасне машинобудування характеризується підвищенням вимог до якості і точності виготовлення деталей машин. Особливою складністю відрізняється галузь якісної і точної обробки поверхонь складнопрофільних деталей. Саме тому важливість проектування та виготовлення верстатних пристроїв (ВП) є актуальним питанням технологічної підготовки виробництва, що впливає на його продуктивність та гнучкість.

Відповідно до сучасних тенденцій створення високоавтоматизованого гнучкого виробництва виникає необхідність у нових методологічних підходах щодо забезпечення параметрів якості та зниження собівартості машинобудівної продукції. Це є наслідком того, що ВП є невід'ємною частиною замкненої технологічної системи «верстат–ВП–різальний інструмент–заготовка» і призначені для точного базування та надійного закріплення заготовок під час обробки на метало-різальних верстатах. Про те, що саме верстатні пристрої впливають на випуск конкурентоспроможної продукції машинобудування, свідчать такі дані: ВП складають 70...80 % загального обсягу технологічної оснастки машинобудівних виробництв (Karplus & Ivanov, 2012); частка ВП складає 10...20 % загальної вартості виробничої системи (Karplus & Ivanov, 2012); 80...90 % витрат часу на

технологічну підготовку виробництва припадає на проектування та виготовлення ВП (Bi & Zhang, 2001); 40 % бракованих деталей після механічної обробки утворюється через недосконалість ВП (Nixon, 1971); 70 % нових компонентів ВП є модифікацією наявних (Rong & Zhu, 1999).

Метою роботи (Ivanov et al., 2021) є обґрунтування ефективності технологічних процесів оброблення складнопрофільних деталей з використанням гнучких ВП шляхом розробки математичної моделі, що враховує витрати часу реалізацію технологічного процесу та серійність виготовлення деталей. Такий підхід дозволяє оцінити ефективність технологічних процесів оброблення деталей складної форми і вибору схеми базування та закріплення, що відповідає конкретним умовам виробництва. Було доведено, що гнучкі ВП можуть бути ефективно використані для оброблення невеликих партій деталей з частою переналадкою на нові заготовки і короткочасним механічним обробленням.

У роботі (Ivanov et al., 2018) описано останні дослідження в галузі проектування гнучких ВП та представлено конструкції ВП для обробки головки блоку циліндрів на основі системи модульних ВП. Аналіз досліджень проектування кріплень показує, що для підвищення

гнучкості, як правило, слід використовувати модульні кріплення, які є гнучкими лише до моменту їх складання. Ці кріплення, як правило, використовуються для однокомпонентних виробів та дрібносерійного виробництва, мають недостатню жорсткість, що зумовлює необхідність зменшення режимів різання та потребує значного часу налагодження. Звичайно, використання модульності в конструкції кріплень є ефективним в автомобільній промисловості. Можливість регулювання кріплення при переході на оброблення деталей іншого типорозміру є вимогою сучасного виробництва.

У роботі (Ivanov, 2019) запропоновано структуру системи CAFD, яка виділяється модулем оптимізації та дозволяє підібрати оптимальне кріплення для заданих умов виробництва. База даних системи CAFD являє собою сукупність бібліотек, пов'язаних логічними зв'язками та містить інженерно-конструкторську, загально технічну, нормативну, довідкову, оптимізаційно-розрахункову інформацію. Розроблено класифікації опорних, фіксуючих та затискних елементів, схеми базування та закріплення заготовок.

У дослідженні (Liu et al., 2014) проведено огляд комп'ютерного програмного забезпечення, яке було розроблено з використанням інтерфейсу САПР для проектування ВП, яка підключена до програмного забезпечення SolidWorks. За допомогою системи бази даних і підтримки прийняття рішень, які вбудовані в модуль проектування, розробнику легше обрати і розмістити установлювальні елементи.

Планування процесів визнано критичною проблемою між проектуванням і виробництвом у системі комп'ютерного інтегрованого виробництва (CIM). Розроблено багато типів систем автоматизованого планування процесів (CAPP) з використанням техніки експертних систем (Iwata & Fukuda, 1990).

Методи прийняття рішень є ефективною підтримкою для інженерного проектування. Однак доведено, що дуже часто конструктори віддають перевагу перевіреним підходам, заснованим на досвіді. У роботі (Renzi et al., 2017) представлено огляд класифікації найбільш широко використовуваних методів прийняття рішень в інженерному проектуванні та відображення їх застосування в автомобільній галузі.

З прогресом технологій та інновацій у розробці продукції, внесок програмного забезпечення для автоматизованого проектування (САПР) у розробку та виробництво деталей/виробів значно зростає. Вибір відповідного програмного забезпечення САПР є важливим завданням, оскільки він передбачає аналіз відповідності наявних програмних пакетів вимогам виробничого процесу. Наявність великої кількості постачальників програмного забезпечення САПР, наявність розбіжностей між різними апаратними та програмними системами, а також нестача технічних знань і досвіду осіб, які приймають рішення, ще більше ускладнюють процедуру відбору. Стаття (Prasad & Chakraborty, 2016) присвячена розробці моделі прийняття рішень на основі QFD у Visual BASIC 6.0 для вибору програмного забезпечення САПР для виробничих підприємств. Для того, щоб продемонструвати

потенціал розробленої моделі у вигляді прототипу програмного забезпечення, наведено два ілюстративних приклади.

У дослідженні (Liu et al., 2014) проведено огляд комп'ютерного програмного забезпечення, яке було розроблено з використанням інтерфейсу САПР для проектування ВП, яка підключена до програмного забезпечення SolidWorks. За допомогою системи бази даних і підтримки прийняття рішень, які вбудовані в модуль проектування, розробнику легше обрати і розмістити установлювальні елементи.

У дослідженні (Badampudi et al., 2016) розроблена та систематизована модель прийняття рішень у системотехніці для створення (розробки) розподілених організаційних інформаційно-керуючих систем. У результаті дослідження розроблено алгоритм прийняття рішень для розробки розподілених організаційних інформаційно-керуючих систем, що поєднує всі розглянуті та запропоновані методи та моделі.

Технологія віртуальної реальності все ще перебуває на ранніх стадіях розвитку, але в міру того, як інновації набирають обертів, системи стають легшими для налаштування, а прогрес у графічних можливостях дозволяє використовувати нові режими візуалізації та взаємодії. У цій статті (Wolfartsberger et al, 2018) обговорюється набір областей застосування VR у промисловості та описується реалізація легкої VR-системи для промислових інженерних застосувань.

Матеріали і методи досліджень. Кронштейни в машинобудуванні працюють у різноманітних умовах: при високій і низькій температурах і вологості, при значній запиленості і «засоленості» навколишнього середовища.

В більшості джерел, зокрема (Singh, 2018), наведені технічні вимоги до складнопрофільних деталей типу кронштейни:

1. Отвори, якими є основна конструкторська база і допоміжна конструкторська база, виготовляють в межах допусків Н6-Н11, а відхилення міжосьових відстаней не повинні перевищувати (0,05-0,5) мм.

2. Осі отворів допоміжної конструкторської бази повинні бути паралельними або перпендикулярними до осі отвору основної конструкторської бази із допустимими відхиленнями від 0,02:100 до 0,1:100.

3. Торці бобишок кронштейнів і отворів основної конструкторської бази повинні бути перпендикулярні до осей цих отворів у межах від 0,1:100 до 0,3:100, а показник шорсткості поверхонь торців становить $Ra=0,32-1,25$ мкм.

4. Верстатні пристрої кронштейнів повинні бути перпендикулярні до осей отворів основної конструкторської бази із допустимими відхиленнями від 0,05:100 до 0,1:100; шорсткість їх поверхонь $Ra=0,63-2,5$ мкм.

5. Шорсткість отворів $Ra=0,63-2,5$ мкм, а відхилення від їх форми – в межах допуску на діаметр (20% або 40%, а інколи – 60%).

6. Твердість верстатних пристроїв кронштейнів становить HRC_э 40-50 (HRC_э 50-55), що збільшує термін використання виробу.

Для кожного типового представника деталей типу кронштейн (рис. 1) можна запропонувати декілька теоретичних схем базування. Вибір схем базування залежить від геометричної форми та конструктивних особливостей деталі (наявність площин, уступів, отворів тощо), точності розмірів, форми та просторового розташування поверхонь одна відносно іншої, якості та шорсткості поверхонь, жорсткості деталі (Rong et al., 2005).

Запропонована конструкторсько-технологічна класифікація (Ivanov et al., 2022) дозволяє описати будь-яку деталь типу кронштейн за конструкторськими та технологічними ознаками (рис. 2), що може бути важливим підетапом при переході від конфігурації деталі до формування альтернативних варіантів компонувань верстатних пристроїв в умовах САПР ВП.

За довжиною базових поверхонь деталі класифікуються на кронштейни з довгими ($l/d > 1$) та короткими ($l/d < 1$) базовими поверхнями, що принципово визначає спосіб їх базування при механічній обробці та відповідно конструкцію верстатного пристрою.

У кронштейнів, як правило, одна або декілька конструкторських баз, які розташовуються паралельно або непаралельно одна до одної. Базові поверхні у поперечному перерізі можуть бути круглими або некруглими, що визначає форму базових поверхонь установлювальних елементів.

За масою кронштейни класифікуються на легкі (менше 1 кг), середні (1–10 кг) та важкі (більше 10 кг), які виготовляються зі сталей (10, 20Л, 45Л, 45, та ін.), чавунів (СЧ15, СЧ18-36, та ін.), а також неметалевих

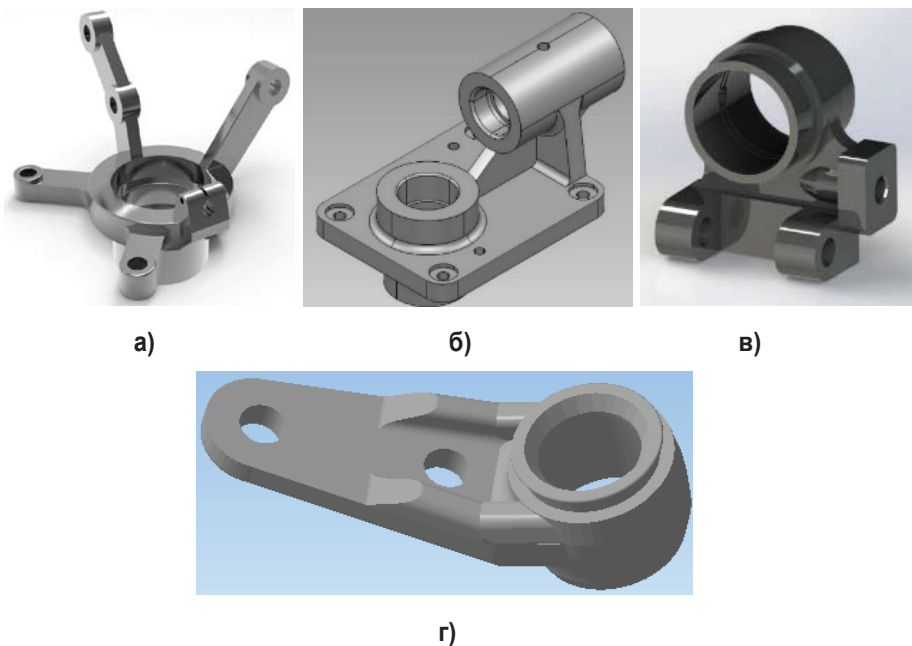


Рис. 1. Типові представники деталей типу кронштейн

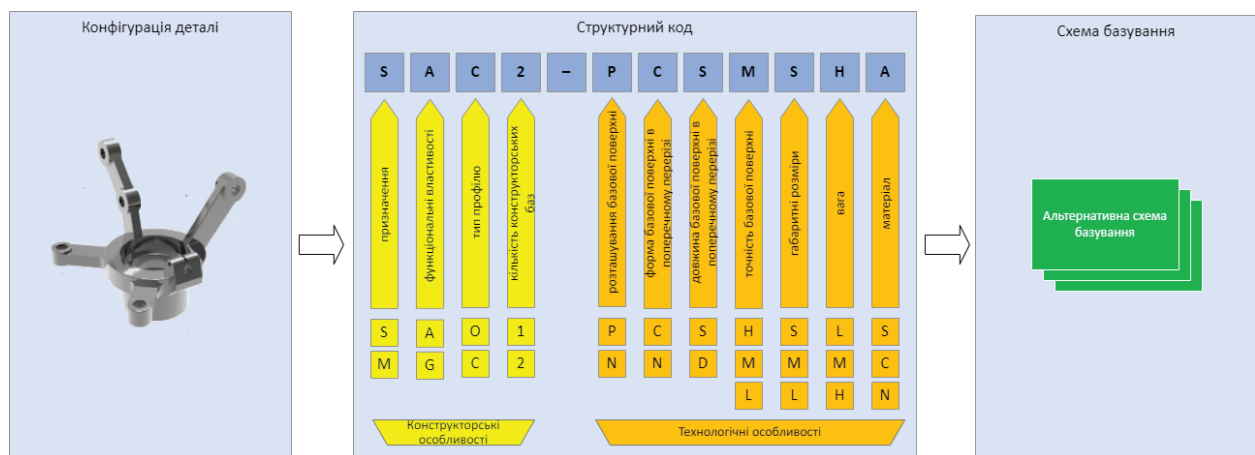


Рис. 2. Графічне представлення методології «від конфігурації деталі до схеми базування» (Ivanov et al., 2022)

матеріалів, що впливає на вибір обладнання, різального інструменту та призначення режимів різання при механічному обробленні.

Залежно від призначення кронштейни поділяються на кронштейни з високою (IT6–IT7), середньою (IT8–IT10) та низькою (IT11–IT14) точністю базових поверхонь. Виготовлення базових поверхонь із високою точністю при інших рівних умовах гарантує більш надійну та довговічну роботу кронштейна та виробу в цілому. За габаритними розмірами кронштейни поділяються на малі (менше 50x50 мм), середні (50x50... 300x300 мм) та великі (більше 300x300 мм), що визначає габаритні розміри ВП та необхідний робочий простір верстата при виготовленні. Шорсткість поверхонь кронштейнів у діапазоні значень Ra 0,8...Ra 6,3.

Приклад застосування конструкторсько-технологічного коду для деталей типу кронштейн (рис. 3).

Для автоматизації процесу вибору оптимальної схеми базування задамо структурно-технологічну класифікацію у вигляді двійкового коду (рис. 4).

Для кожного типового представника деталей типу кронштейн можна запропонувати декілька теоретичних схем базування. Вибір схем базування залежить від геометричної форми та конструктивних особливостей деталі (наявність площин, уступів, отворів тощо), точності розмірів, форми та просторового розташування поверхонь одна відносно іншої, якості та шорсткості поверхонь, жорсткості деталі (табл. 1).

Відповідно до умов роботи і конкретних технічних вимог можна збільшити кількість способів реалізації

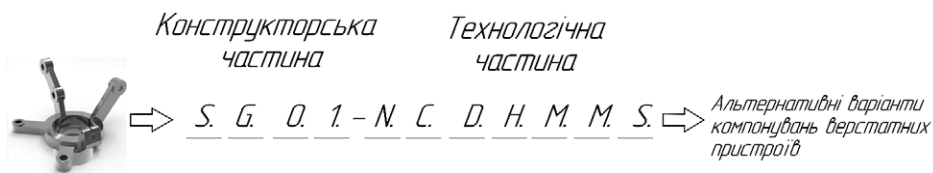


Рис. 3. Приклад застосування конструкторсько-технологічного коду для деталей типу кронштейн

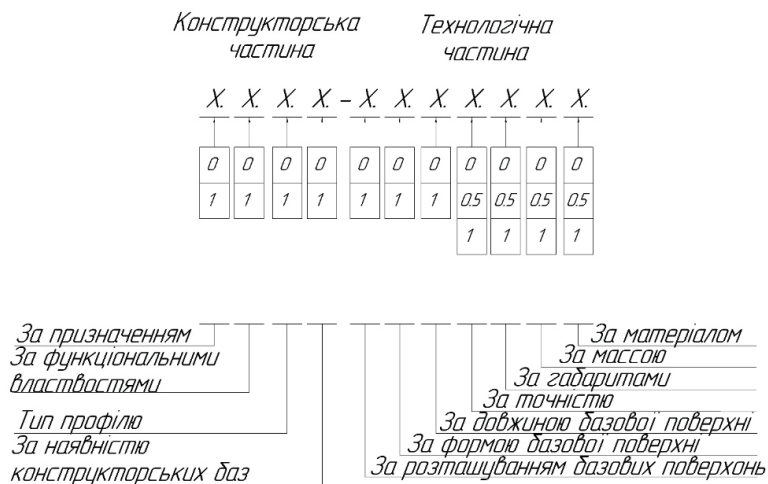


Рис. 4. Конструкторсько-технологічна класифікація у вигляді двійкового коду

схем базування. Після вибору оптимальної схеми базування встановлюються вимоги до комплексу установлювальних компонентів, таких як діапазон геометричних розмірів, тип робочої поверхні та інші характеристики. При визначенні цих вимог також враховується геометрична форма, геометричні розміри та розташування поверхонь.

Результатом вибору способу реалізації теоретичної схеми базування є декілька варіантів, які затверджуються інженером-технологом. Після визначення способу реалізації виконується формування вимог до комплексу установлюваних елементів. При формуванні вимог враховуються геометрична форма, габаритні розміри, якість базових поверхонь. Під вимогами маємо на увазі

діапазони геометричних розмірів установлювальних елементів, вид робочої поверхні елемента.

Результати. Для кожного типового представника деталей типу кронштейн (рис. 1) проведені розрахунки автоматизованого вибору оптимальної схеми базування (рис. 5).

Як, видно, з графіків для деталей б та г теоретична та розрахункова схеми базування співпадають.

Для деталей а та в, схеми базування не співпадають. Це може бути пов'язане з тим що деталі даної конфігурації можливо реалізувати декількома способами. Для оброблення бобишок кронштейн, можливо закріпити в трьохкулачковий патрон за зовнішній діаметр, та прихватами за торець.

Способи реалізації теоретичних схем базування

Теоретичні схеми базування	Способи реалізації			
		Установлювальна база	Напрямна база	Опорна база
1.1 За трьома площинами		Установлювальна база	Напрямна база	Опорна база
	1.1.1	Пластини	Пластина	Опора
	1.1.2	Опори	Опори	Опора
	1.1.3	Пластини	Опори	Опора
	1.1.4	Пластина та опори	Опори	Опора
	1.1.5	Пластина та опори	Пластина	Опора
1.2 За двома площинами та отвором		Установлювальна база	Напрямна база	Опорна база
	1.2.1	Пластини	Циліндричний палець	Опора
	1.2.2	Опори	Циліндричний палець	Опора
	1.2.3	Пластини	Розтискний самоцентруючий палець	Опора
	1.2.4	Опори	Розтискний самоцентруючий палець	Опора
1.3 За площиною та двома отворами		Установлювальна база	Напрямна база	Опорна база
	1.3.1	Пластини	Циліндричний палець	Циліндричний палець
	1.3.2	Пластини	Циліндричний палець	Ромбічний палець
	1.3.3	Пластини	Конічний висувний палець	Ромбічний палець
	1.3.4	Пластини	Розтискний самоцентруючий палець	Ромбічний палець
1.4 За двома зовнішніми циліндричними поверхнями		Подвійна напрямна база		Опорна база
	1.4.1	Самоцентруючі призми		Бокова опора
	1.4.2	Призми		Бокова опора
1.5 За однією зовнішньою циліндричною поверхнею та площиною		Подвійна напрямна база		Опорна база
	1.5.1	Самоцентруючі призми		Бокова опора
	1.5.2	Призми		Бокова опора
1.6 За однією зовнішньою циліндричною поверхнею та отвором		Подвійна напрямна база		Опорна база
	1.6.1	Самоцентруючі призми		Опора
	1.6.2	Призми		Опора

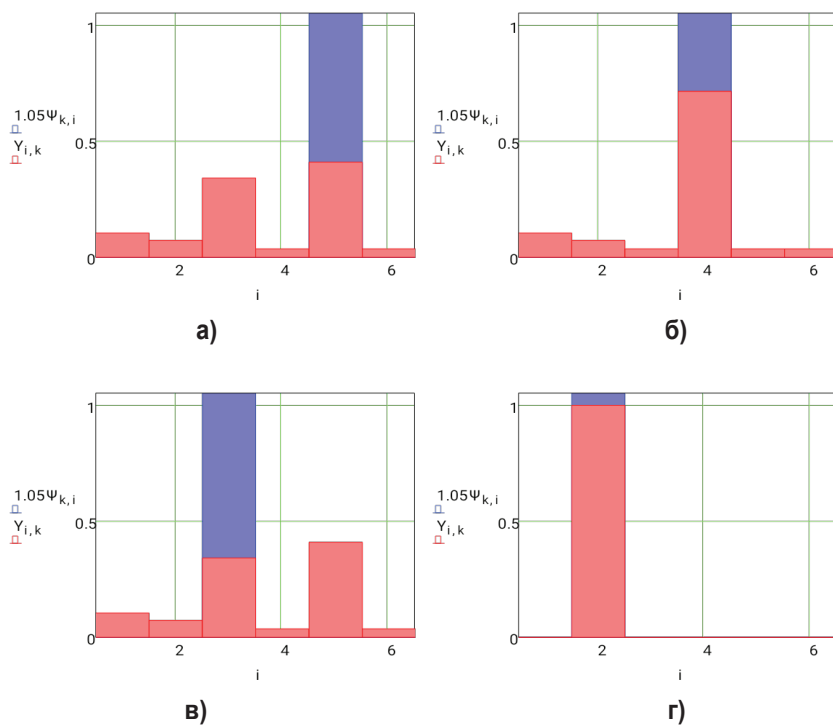


Рис. 5. Розрахунки вибору схеми базування

Висновки. Отримала подальший розвиток систематизація схем базування заготовок у верстатних пристроях, на основі чого розроблено методологію, яка дозволяє вдосконалити процес проектування під час конструювання верстатних пристроїв, у тому числі в автоматизованому режимі, та враховує конструкторсько-технологічні особливості заготовок деталей і задані технологічні умови. На основі розробленої конструкторсько-технологічної класифікації створено методику кодування деталей типу кронштейнів, яка забезпечить пошук відповідних конструкцій ВП в інформаційно-пошукових системах. Розроблено метод розрахунку та прогнозування показників, що впливають на раціональний вибір компонування ВП за конструкторсько-технологічними ознаками складнопрофільних деталей. Це дозволяє точно і швидко здійснювати контроль основних

параметрів для забезпечення інтенсифікації процесу оброблення. Запропонований підхід ґрунтується на комплексному науково-методологічному підході оцінювання кількісних значень формалізованих показників, що визначають вищезазначені конструкторсько-технологічні ознаки.

Дослідження виконано в рамках виконання українсько-словацького науково-дослідного проекту «Удосконалення технологічної підготовки виробництва за рахунок автоматизації процесу проектування верстатних пристроїв» (ДР № 0122U002657, № 0123U103320, Міністерство освіти і науки України) та НДР «Інтенсифікація виробничих процесів та розробка інтелектуальних систем контролю якості продукції в інтелектуальному виробництві» (ДР № 0122U200875, Міністерство освіти і науки України).

Бібліографічні посилання:

1. Badampudi, D., Wohlin, C., & Petersen, K. (2016). Software component decision-making: In-house, OSS, COTS or outsourcing – A systematic literature review. *Journal of Systems and Software*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.07.027>
2. D. K. Singh (2008) *Fundamentals of Manufacturing Engineering*, India: Ane Books India,
3. Ivanov, V. (2019). Process-oriented approach to fixture design. In *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93587-4_5
4. Ivanov, V., Dehtiarov, I., & Zajac, J. (2018). Flexible Fixtures for Parts Machining in Automobile Industry. <https://doi.org/10.4108/eai.22-11-2017.2274155>
5. Ivanov, V., Kolos, V., Liaposhchenko, O., & Pavlenko, I. (2022). Technological Assurance of Bracket-Type Parts Manufacturing. *EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67241-6_31
6. Ivanov, V., Liaposhchenko, O., Denysenko, Y., & Pavlenko, I. (2021). Ensuring economic efficiency of flexible fixtures in multiproduct manufacturing. *Engineering Management in Production and Services*, 13(1). <https://doi.org/10.2478/emj-2021-0004>
7. Iwata, K., & Fukuda, Y. (1990). Design of Decision-Making Engine in Knowledge Assisted Process Planning System (KAPPS). *IFAC Proceedings Volumes*, 23(3), 85–90. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)52539-2](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)52539-2)
8. Karpus, V. & Ivanov, V. (2012) *Intensyfikatsiia protsesiv mekhanichnoi obrobky [Intensification of mechanical processing processes]*. Sumy: Sumskiy derzhavnyi universytet, 436 p. (in Ukrainian).
9. Liu, T., Cui, H., Li, Y., & Tian, N. (2014). The computer-aided-design (CAD) system of straight bevel gear based on SolidWorks software. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 87. <https://doi.org/10.2495/AMITP20131051>
10. Liu, T., Cui, H., Li, Y., & Tian, N. (2014). The computer-aided-design (CAD) system of straight bevel gear based on SolidWorks software. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 87. <https://doi.org/10.2495/AMITP20131051>
11. Nixon, F. (1971) *Managing to Achieve Quality and Reliability*, McGraw Hill
12. Prasad, K., & Chakraborty, S. (2016). A QFD-based decision making model for computer-aided design software selection. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 7(2). <https://doi.org/10.5267/j.msl.2016.1.006>
13. Renzi, C., Leali, F., & di Angelo, L. (2017). A review on decision-making methods in engineering design for the automotive industry. *Journal of Engineering Design*, 28(2). <https://doi.org/10.1080/09544828.2016.1274720>
14. Rong, J.(K.); Huang, S.H.; Hou, Z (2005). *Advanced Computer-Aided Fixture Design*; Elsevier: Amsterdam, Netherlands, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-594751-0.X5000-5>.
15. Rong, Y., & Zhu. Y. (1999) *Computer-Aided Fixture Design – New York* : Marcel Dekker, 496 p.
16. Wolfartsberger, J., Zenisek, J., & Sievi, C. (2018). Chances and Limitations of a Virtual Reality-supported Tool for Decision Making in Industrial Engineering. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 637–642. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.390>
17. Z. M. Bi, W. J. Zhang (2001) Flexible fixture design and automation. *International Journal of Production Research*, 2867–2894 p.

Kolos V. O., PhD student, Sumy State University, Sumy, Ukraine

System for automated selection of bracket-type parts base scheme

The development of modern efficient production systems requires careful production planning. Global mechanical engineering is dominated by multi-coordinate production, which is characterized by a wide range of products, a reduction in non-productive time, the introduction of highly efficient machining centers with numerical program control (PCM), and a reduction in the number of units of technological equipment. The number of base schemes for workpieces of complex shape in the conditions of multi-coordinate processing on multi-purpose machines requires a reasonable choice of base scheme of the workpiece and puts forward requirements for the design of machine tools. In modern mechanical engineering, the use of flexible VP is an effective solution. They have production capabilities that allow you to reduce unproductive time spent, which in turn contributes to increased productivity. Flexibility in modern manufacturing has become a key factor in efficiency. Therefore, it is necessary to quickly select optimal configurations of machine tools for various production conditions. The

latest trends in the machine-building industry confirm that in today's conditions of fierce competition, product manufacturers try to minimize time to market, but in turn, the requirements for their accuracy and quality are constantly increasing. The design and manufacture of flexible fixture is an urgent problem of production planning to ensure high productivity and flexibility of production. The study developed a structural-functional model of the process of designing flexible fixtures for multi-coordinate processing of parts such as brackets. This will make it possible to establish functional and informational connections between structural subdivisions. A mathematical model of the automated selection of the basing scheme of machine tools based on structural and technological features has been created. An important stage in the design of flexible fixture is the development of scientific and theoretical foundations for the optimal selection of machine tool layouts based on compliance with the specified requirements for accuracy, productivity, flexibility and cost. The solutions mentioned above will improve production planning in the engineering, automotive and other industries.

Key words: *flexibility, decision-making, flexible fixture, automated design, design-technological classification.*