

УДК 621.9-1/-9

В.О. Іванов¹, В.О. Залога¹, Є.В. Басова², В.С. Капанайко¹
Сумський державний університет¹НТУ «Харківський політехнічний інститут»²**АЛГОРИТМ ВИБОРУ УСТАНОВЛЮВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВЕРСТАТНИХ ПРИБОРІВ**

Питання щодо підвищення ефективності сучасного свердильно-фрезерно-розточувального обладнання в умовах багатомоделного виробництва є пріоритетними в сучасному машинобудуванні. Використання верстатних пристроїв є обов'язковою умовою для забезпечення точності і якості машинобудівної продукції. У роботі розглянуті питання вибору установлювальних елементів як етапу проектування компоновок верстатних пристроїв. На підставі розробленого алгоритму реалізується обґрунтований вибір установлювальних елементів для заготовок корпусних деталей при реалізації схеми базування за трьома площинами. Наведено послідовність формування безлічі рішень при виборі функціональних елементів верстатного пристрою з бази даних з урахуванням конструкторсько-технологічних характеристик оброблюваної деталі. Практична цінність дослідження полягає в реалізації автоматизованого вибору установлювальних елементів верстатних пристроїв, що дозволить підвищити ефективність процесу проектування технологічного оснащення та знизити трудомісткість технологічної підготовки виробництва.

Ключові слова: базування, верстатний пристрій, установлювальний елемент, гнучкість, автоматизація

В.А. Иванов, В.О. Залога, Е.В. Басова, В.С. Капанайко**АЛГОРИТМ ВЫБОРА УСТАНОВОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ**

Вопросы повышения эффективности современного сверлильно-фрезерно-расточного оборудования в условиях многоменного производства являются приоритетными в современном машиностроении. Использование станочных приспособлений – это обязательное условие для обеспечения точности и качества машиностроительной продукции. В работе рассмотрены вопросы выбора установочных элементов как этапа проектирования компоновок станочных приспособлений. На основании разработанного алгоритма реализуется обоснованный выбор установочных элементов для заготовок корпусных деталей при реализации схемы базирования по трем плоскостям. Приведена последовательность формирования множества решений при выборе функциональных элементов станочного приспособления из базы данных с учетом конструкторско-технологических характеристик обрабатываемой детали. Практическая ценность исследования заключается в реализации автоматизированного выбора установочных элементов станочных приспособлений, что позволит повысить эффективность процесса проектирования технологической оснастки и снизить трудоемкость технологической подготовки производства.

Ключевые слова: базирование, станочное приспособление, установочный элемент, гибкость, автоматизация

V. Ivanov, V. Zaloga, Y. Basova, V. Kapanaiiko**ALGORITHM FOR THE SELECTION OF LOCATING ELEMENTS OF FIXTURES**

Issues of increasing the efficiency of modern drilling, milling and boring equipment in the conditions of multiproduct manufacturing are priorities in modern machine-building. The use of fixtures is a prerequisite for ensuring the accuracy and quality of engineering products. The paper discusses the selection of locating elements as a design stage for the fixture design. Based on the developed algorithm, a reasonable choice of locating elements for prismatic workpieces is realized when implementing a locating chart on three planes (3-2-1 locating chart). The sequence of forming a set of solutions for selecting the functional elements of the fixtures from the database, taking into account the design and technological characteristics of the workpiece. The practical value of the research lies in the implementation of automated selection of locating elements of fixtures, which will increase the efficiency of the tooling design process and reduce the labor content of the production planning.

Keywords: locating, fixture, locating element, flexibility, automation

Постановка проблеми. Сучасне машинобудівне виробництво характеризується багатомоделністю виробів і нестабільністю обсягів випуску продукції. Велика різноманітність деталей потребує механічної обробки для досягнення необхідної точності розмірів, форми та взаємного розташування, а також якості поверхонь згідно з їх службовим призначенням. Усі типи деталей потребують точного базування та надійного закріплення при механічній обробці для забезпечення заданих конструктором параметрів, що дозволить забезпечити працездатність і надійність виробу в цілому. У зв'язку з цим значна увага приділяється верстатним пристроям (ВП) [1]. Варто відмітити, що враховуючи розширення технологічних можливостей сучасних верстатів [2], їх високу вартість та необхідність здійснення великої кількості переналадок при переході до обробки деталей іншого типорозміру, стрімкого розвитку набуває інтенсифікація виробництва [3]. Це передбачає підвищення гнучкості ВП, скорочення підготовчо-заключного часу, а також можливості багатокоординатної та багатоінструментної обробки деталей за один установ, що повинно забезпечуватись саме конструкцією

ВП [4-6]. Усе це сприяє скороченню витрат часу на технологічну підготовку виробництва, а отже сприятливо впливає на зниження вартості продукції [7, 8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз вітчизняних та закордонних джерел інформації свідчить, що процес проектування ВП є складним та трудомістким, до того ж потребує одночасного урахування великої кількості інформаційних даних [9]. Схему базування корпусних деталей за трьома площинами ще називають «принцип 3-2-1», що забезпечує максимальну жорсткість і мінімальну кількість елементів ВП. Правильне базування заготовки у ВП є важливим етапом для забезпечення точності обробки. Установлювальні елементи повинні бути розташовані якомога далі один від одного та з умовою, щоб центр мас знаходився між ними, що забезпечить стійкість положення заготовки. Затискні елементи забезпечують надійність положення заготовки у процесі обробки на верстаті. Актуальним є знаходження оптимальних позицій установлювальних і затискних елементів [10]. Menassa and DeVries [11] використовували мінімізацію відхилення заготовки у визначених точках як критерій для проектування при визначенні позицій установлювальних елементів ВП. Meyer and Liou [12] запропонували підхід, в основі якого лінійне програмування, для синтезу компоновки ВП із урахуванням динамічних умов обробки. Крім того, було запропоновано рішення для мінімізації сили закріплення та сил реакції опор. Li and Melkote [13] за допомогою методу нелінійного програмування довели, що похибка базування заготовки у ВП мінімізується завдяки локалізації пружних деформацій. Roy and Liao [14] розробили евристичний метод для позиціонування установлювальних і затискних елементів ВП. Tao et al. [15] презентували методологію геометричного обґрунтування для визначення оптимальних позицій затискних елементів ВП і послідовності закріплення заготовки для складних заготовок. Liao and Hu [16] презентували систему для аналізу компоновки ВП, що базується на динамічній моделі, та аналізує систему «ВП – заготовка» залежно від змінних у часі силових навантажень. Li and Melkote [17] запропонували комбінований метод оптимального синтезу компоновки ВП і призначення сил закріплення з урахуванням динаміки заготовки під час обробки. Amaral et al. [18] використовували скінченноелементне моделювання для вирішення оптимізаційної задачі на перевірку працездатності компоновки ВП. Tan et al. [19] здійснили моделювання, аналіз та перевірку найвигідніших компонок ВП методами силового затискання, оптимізації та скінченноелементного моделювання. Mihaylov and Nikolcheva [20] розробили методику позиціонування установлювальних елементів ВП для установа заготовок призматичного та циліндричного типу за принципом «3-2-1». За цією методикою позиції функціональних елементів розраховуються з урахуванням центру ваги заготовки, що дозволяє підвищити жорсткість системи «ВП – заготовка». У більшості вищезазначених досліджень використовувалися методи лінійного або нелінійного програмування, що часто не забезпечує глобальне оптимальне рішення. Wan et al. [21] провели дослідження та запропонували метод проектування затискних елементів для закріплення заготовок при механічній обробці. Обґрунтовано кількість обмежень ступенів вільності залежно від особливостей обробки деталей. Також розроблено алгоритм автоматичної генерації схеми позиціонування та систему аналізу рівноваги під дією сил при обробці. Rétfalvi [22] для прискорення процесу проектування ВП розробив систему, що реалізується у кілька етапів: вибір функціональних елементів, їх розміщення у компоновці ВП та подальше складання. Вхідними даними є CAD-модель та її технологічні особливості обробки. Система самостійно вибирає поверхні необхідні для базування. Hunter Alarcon et al. [23] розробили та впровадили програмний продукт для проектування ВП, особливістю якого є те, що він самостійно формує супровідну конструкторсько-технологічну документацію та забезпечує колективну роботу між безпосередніми виконавцями при проектуванні ВП. Nelaturi et al. [24] розробили алгоритм генерації моделі ВП із урахуванням стійкості заготовки, точок контакту між заготовкою та його функціональними елементами, постійності сил закріплення. Система вибирає компоновку ВП із елементів, що є в наявності та задовольняють умовам проектування. Peng et al. [25] створили систему віртуального складання модульних ВП. Методологію позиціонування функціональних елементів створено на основі аналізу ступенів вільності елементів, що взаємодіють. Wu et al. [26] розробили алгоритм визначення місцеположення функціональних елементів на опорній плиті для встановлення деталі складної форми. Алгоритм створений на основі теорії механізмів зчеплення, що дозволяє визначити оптимальне положення функціональних елементів та самої заготовки. Також цей алгоритм дозволяє проаналізувати можливі варіанти розміщення елементів, та вибрати такий варіант, що найбільш відповідає виробничим умовам. Vichare et al. [27] описали методику, що дозволяє виявити взаємозв'язки між функціональними елементами модульних ВП за допомогою використання єдиної виробничої ресурсної моделі та створити інформаційну базу з

логічними зв'язками між елементами, що в подальшому дозволить швидко виявляти зв'язки та складати готові ВП.

Постановка завдань. Метою представленого дослідження є розробка алгоритму автоматизованого вибору установлювальних елементів верстатних пристроїв для забезпечення циклу проектування та точності обробки корпусних деталей на свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах.

Викладення основного матеріалу. З метою скорочення витрат часу на проектні процедури при проектуванні компонувань ВП запропоновано та розроблено алгоритм автоматизованого вибору установлювальних елементів верстатних пристроїв, що використовується для базування корпусних деталей на свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах відповідно до конструкторсько-технологічних особливостей заготовок.

Алгоритм здійснює вибір установлювальних елементів (опорні пластини або опори) для заготовок корпусних деталей за схемою базування «за трьома площинами» та реалізується у три основні етапи (рис. 1): для установлювальної, напрямної та опорної бази. Вибір здійснюється шляхом виконання логічних операцій на основі розроблених правил.

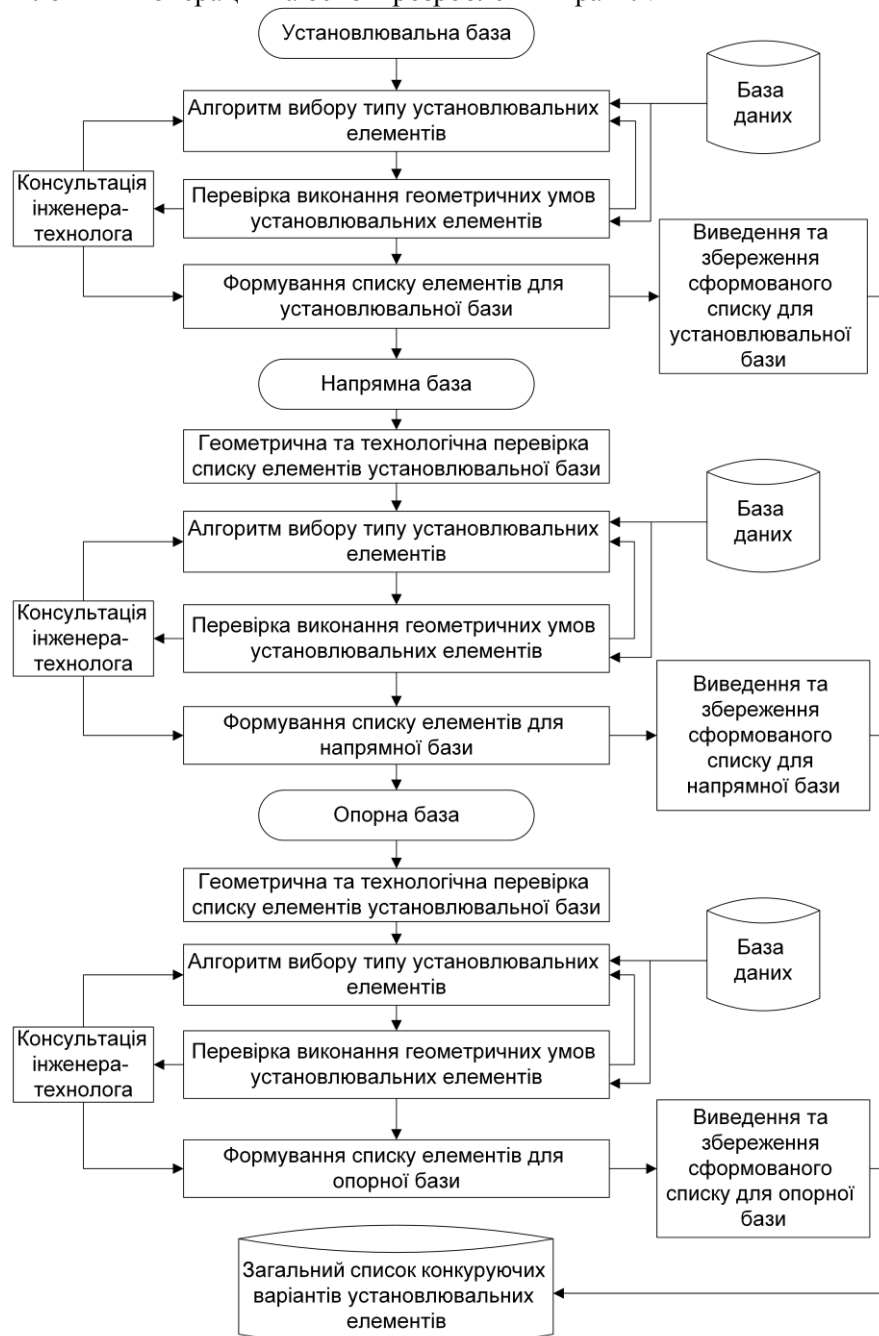


Рис. 1 Логічна схема вибору установлювальних елементів верстатних пристроїв для реалізації схеми базування «за трьома площинами»

Далі, враховуючи інформацію про шорсткість базової поверхні заготовки, відбувається уточнення типу установлювального елемента (рис. 2).

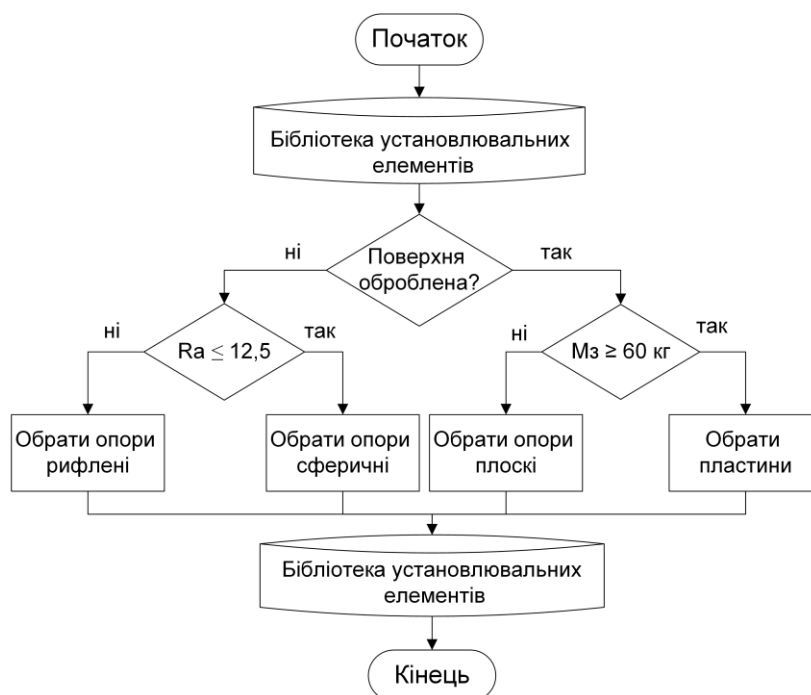


Рис. 2 Алгоритм вибору типу установлювальних елементів

За установлювальну базу обирається поверхня найбільша за своєю площею. У випадку використання опорних пластин перевірка виконання геометричних умов виконується з урахуванням довжини та ширини заготовки. Також враховується те, що достатньою умовою реалізації установлювальної бази є використання двох пластин. Вибір опорних пластин із бібліотеки установлювальних елементів здійснюється з урахуванням довжини l_{Π} і ширини пластини b_{Π} , довжини l_{wp} і ширини b_{wp} установлювальної бази, а також коефіцієнту гарантованого відступу, який приймаємо рівним 0,9 за формулами:

$$l_{\Pi} \leq 0,9 \cdot b_{wp}, \quad (1)$$

$$b_{\Pi} \leq \frac{0,9 \cdot l_{wp}}{2}. \quad (2)$$

При використанні опор, перевірка виконання геометричних умов виконується з урахуванням довжини l_{wp} та ширини b_{wp} установлювальної бази. Діаметр опори D_o приймається в два рази менший ширини заготовки та в 4 рази менший довжини заготовки з урахуванням коефіцієнту гарантованого відступу 0,9:

$$D_o \leq \frac{0,9 \cdot b_{wp}}{2}, \quad (3)$$

$$D_o \leq \frac{0,9 \cdot l_{wp}}{4}. \quad (4)$$

Якщо жодна опорна пластина чи опора не задовольнила геометричні умови установлювальної бази на етапі вибору, консультація інженера-технолога є обов'язковою відповідно до розробленої схеми (рис. 1). Результатом роботи вибору установлювальних елементів є сформований список опорних пластин або опор, що задовольняють геометричні та технологічні умови установлювальної бази.

Зазвичай, за напрямну базу обирається поверхня, яка є найбільшою за довжиною. Для покращення роботи алгоритму над вибором установлювальних елементів для реалізації наступних баз виконується перевірка уже сформованого на попередньому етапі списку установлювальних елементів за технологічними та геометричними умовами: тобто йде відсіювання елементів списку, що не задовольняють даний етап по стану та шорсткості поверхні. Після цього здійснюється

геометрична перевірка за довжиною опорної пластини l_{Π} , що залежить від довжини заготовки l_{wp} , а ширина b_{Π} – від висоти поверхні, що реалізує напрямну базу. Для забезпечення надійного базування достатньо однієї опорної пластини, розміри якої необхідно розраховувати з урахуванням коефіцієнта гарантованого відступу 0,9:

$$l_{\Pi} \leq 0,9 \cdot l_{wp}, \quad (5)$$

$$b_{\Pi} \leq 0,9 \cdot h_{wp}. \quad (6)$$

На відміну від пластин, для реалізації напрямної бази необхідно і достатньо двох опор, діаметр яких повинен бути вдвічі меншим за довжину заготовки. Також необхідно враховувати коефіцієнт гарантованого відступу 0,9:

$$D_o \leq 0,9 \cdot h_{wp}, \quad (7)$$

$$D_o \leq \frac{0,9 \cdot l_{wp}}{2}. \quad (8)$$

Результатом перевірки списку за технологічними і геометричними умовами напрямної бази, формується список елементів, які також будуть входити до списку установлювальної бази. У тому разі коли жоден елемент зі списку установлювальної бази не задовольнив геометричні або технологічні умови напрямної бази, буде здійснено виконання алгоритму, але вже для випадку нової бази (напрямної). І одразу після перевірки геометричних умов згідно з формулами (5), (6) або (7), (8) відповідно до вибраного типу установлювальних елементів. По аналогії з вибором елементів для установлювальної бази, в разі неможливості підбору установлювальних елементів за їх геометричними параметрами, інженер-технолог повинен самостійно скорегувати вхідні дані, або ввести необхідний набір елементів. Результатом другого етапу алгоритму є сформований список установлювальних елементів для реалізації напрямної бази.

Третій етап характеризується тим що для реалізації опорної бази достатньо однієї опорної пластини чи опори. На цьому етапі здійснюється перевірка списку установлювальних елементів напрямної бази відповідно до умов опорної бази (аналогічно як у випадку з перевіркою списку установлювальної бази для умов напрямної). Перевірка здійснюється за формулами (9), (10) – для опорних пластин, та (11), (12) – для опор.

$$l_{\Pi} \leq 0,9 \cdot b_{wp}, \quad (9)$$

$$b_{\Pi} \leq 0,9 \cdot b_{wp}, \quad (10)$$

$$D_o \leq 0,9 \cdot h_{wp}, \quad (11)$$

$$D_o \leq 0,9 \cdot l_{wp}, \quad (12)$$

За аналогією з першим та другим етапами у випадках невиконання технологічних та геометричних умов інженер-технолог повинен скорегувати чи сформулювати список. Результатом третього етапу алгоритму є сформований список установлювальних елементів для опорної бази.

Результатом роботи всього алгоритму є сформований список конкуруючих варіантів установлювальних елементів, придатних для реалізації технологічних баз деталі корпусного типу, який включає в себе списки елементів для установлювальної, напрямної та опорної баз.

Для систематизації даних при виборі установлювальних елементів основною умовою є створення бази даних, яка містить повний перелік функціональних елементів, їх технологічні та геометричні характеристики. Однією з основних технологічних характеристик є можливість реалізації певної бази конкретним елементом. Також вказується можливість використання функціональних елементів для обробленої чи необробленої поверхні заготовки, поверхні з певною шорсткістю, а також певної форми заготовки. Кожен функціональний елемент повинен мати свій унікальний номер. Фрагмент бібліотеки установлювальних елементів наведено у таблиці 1, де вказано його призначення, тип функціональної поверхні, тип поверхні заготовки, для якої може бути використаний даний елемент.

Для формування списку елементів, необхідних для реалізації схеми базування, розроблено алгоритм, який дозволяє відібрати функціональні елементи з загального списку за стадією обробки поверхні заготовки, її шорсткістю, масою заготовки та геометричними розмірами.

Таблиця 1.

Фрагмент бібліотеки установлювальних елементів

Зображення	УБ	НБ	ОБ	ПНБ	ПОБ	Тип поверхні функціонального елемента	Тип поверхні заготовки
	+	+	+			Плоска	Оброблена
	+	+	+			Плоска	Оброблена
	+	+	+			Плоска	Оброблена
	+	+	+			Плоска	Оброблена
	+	+	+			Рифлена	Не оброблена
	+	+	+			Рифлена	Не оброблена
	+	+	+			Рифлена	Не оброблена
	+	+	+			Плоска	Оброблена
				+	+	V-подібна	Оброблена / оброблена
				+	+	V-подібна	Оброблена / не оброблена
			+		+	Циліндрична	Оброблена
					+	Циліндрична	Оброблена

Це дозволяє значно скоротити список елементів та розподілити які елементи будуть реалізовувати конкретну базу. Але в подальшому формуються конкретні вимоги до функціональних елементів та за ними вибирають необхідний комплект функціональних елементів, що повністю забезпечить виробничі потреби. Розроблений алгоритм інтегровано у систему автоматизованого проектування верстатних пристроїв [28].

Висновки.

Розроблено алгоритм вибору установлювальних елементів верстатних пристроїв на основі конструкторсько-технологічних параметрів оброблюваної заготовки. На прикладі схеми базування корпусної деталі за схемою базування за трьома площинами, виявлено, що на вибір установлювальних елементів впливають технологічні (вид обробки, шорсткість базових поверхонь) та конструктивні (габаритні розміри, геометрична форма заготовки) параметри. Вибір елементів проводиться у автоматизованому режимі, але при виникненні спірних питань, інженер-технолог може корегувати вибрані комп'ютером варіанти та призначати свої комбінації функціональних елементів на основі досвіду.

Список використаних джерел:

1. Ivanov V., Dehtiarov I., Zajac, J. Flexible Fixtures for Parts Machining in Automobile Industry, Proceedings of 2nd EAI Int. Conf. on Management of Manufacturing Systems (MMS-2017) (22-24.11.2017, Slovakia). Slovakia, EAI, 2018, 15 pages. doi: 10.4108/eai.22-11-2017.2274155.
2. Іванов В. О., Карпусь В.Є., Дегтярьов І.М. Конструкторсько-технологічний аналіз сучасних свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів / В. О. Іванов, В. Є. Карпусь, І. М. Дегтярьов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. Харків : НТУ «ХПІ», 2016. № 33 (1205). С. 95–105.
3. Карпусь В.Є., Іванов В.О., Котляр О.В. та ін. Інтенсифікація процесів механічної обробки: монографія/ ред. В.Є. Карпуся. Суми: Сумський державний університет, 2012. 436 с.
4. Bakker O.J., Papastathis T.N., Ratchev S.M., Popov A.A. Recent Research on Flexible Fixtures for Manufacturing Processes. Recent Patents on Mechanical Engineering, 2013. Vol.6, Issue 2. pp. 107–121. doi: 10.2174/2212797611306020003.
5. Tohidi H., Algeddawy T. Planning of Modular Fixtures in a Robotic Assembly System. Procedia CIRP, 2016. Vol. 41. pp. 252–257. doi: 10.1016/j.procir.2015.12.090.
6. Ivanov V., Zajac J. Flexible Fixtures for CNC Machining Centers in Multiproduct Manufacturing. EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems, 2018. Vol. 4, Issue 12. e5, doi: 10.4108/eai.10-1-2018.153552.
7. Li H., Chen W., Shi S. Design and Application of Flexible Fixture. Procedia CIRP, 2016. Vol. 56. pp. 528–532. doi: 10.1016/j.procir.2016.10.104.
8. Gothwal S., Raj T. Different Aspects in Design and Development of Flexible Fixtures: Review and Future Directions. International Journal of Services and Operations Management, 2017. Vol. 26, Issue 3. pp. 386–410. doi: 10.1504/IJSOM.2017.081944.
9. Іванов В.О., Карпусь В.Є., Ващенко С.М., Заяць Й., Кармаза А.І. Структурно-функціональне моделювання процесу проектування верстатних пристроїв / В.О. Іванов, В.Є. Карпусь, С.М. Ващенко, Й. Заяць, А.І. Кармаза// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. Х.: НТУ «ХПІ», 2017. №17(1239). С. 30–37.
10. Ivanov V., Pavlenko I. Fundamental Approach for Analysis of Dynamic Characteristics of Fixtures, EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems, 2018. Vol. 4, Issue 13. e1. doi: 10.4108/eai.20-3-2018.154366.
11. Menassa R. J., DeVries W.R. Optimization methods applied to selecting support positions in fixture design. ASME Journal of Engineering for Industry, 1991. Vol. 113. pp. 412–418.
12. Meyer R.T., Liou F.W. Fixture analysis under dynamic machining. International Journal of Production Research. 1997. Vol. 35, Issue 5. pp. 1471–1489.
13. Li R., Melkote S.N. Improved workpiece location accuracy through fixture layout optimization. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 1999. Vol. 39. pp. 871–883.
14. Roy U., Liou J. Geometric reasoning for re-allocation of supporting and clamping positions in the automated fixture design system. IEEE Transactions. 1999. Vol. 31. pp. 313–322.

15. Tao Z.J., Kumar A.S., Nee A.C. A computational geometry approach to optimum clamping synthesis of machining fixtures. *International Journal of Production Research*. 1999. Vol. 37, no 15. pp. 3495–3517.
16. Liao Y.J., Hu S.J. Flexible multibody dynamics based fixture–workpiece analysis model for fixturing stability. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2000. Vol. 40. pp. 343–362.
17. Li B., Melkote S.N. Optimal fixture design accounting for the effect of workpiece dynamics. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2001, Vol. 18. pp. 701–707.
18. Amaral N., Rencis J.J., Rong Y. Development of a finite element analysis tool for fixture design integrity verification and optimisation. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2004, Vol. 21, pp. 411–419.
19. Tan E.T., Kumar A.S., Fuh J.H., Nee A.C. Modeling, analysis and verification of optimal fixturing design. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2004, Vol. 1, no. 2, pp. 121–132.
20. Mihaylov O., Nikolcheva G. An integrate RGR fixture design system. *CBU International Conference on Inovations in Science and Education*. 2017. pp. 1175–1180.
21. Neng W., Zhan W., Rong M. An intelligent fixture design method based on smart modular fixture unit. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2013. Vol. 2. pp. 2629–2630.
22. Rétfalvi A. Fixture Design System with Automatic Generation and Modification of Complementary Elements for Modular Fixtures. *Acta Polytechnica Hungarica* 2015, Vol. 19, pp. 163–182.
23. Hunter Alarcon R., Rios Chueco J., Perez Garcia J.M., Vizan Idoipe A. Fixture knowledge model development and implementation based on a functional design approach. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2010. Vol. 10. pp. 56–66.
24. Nelaturi S., Rangarajan A., Fritz C., Kurtoglu T. Automated fixture configuration for rapid manufacturing planning. *Computer-Aided Design*, 2014. Vol. 9. pp. 160–169.
25. Gaoliang P., Wenjian L., Haiquan Y. A desktop virtual reality-based interactive modular fixture configuration design system. *Computer-Aided Design*. 2010. Vol. 12. pp. 432–444.
26. Wu Y., Gao S., Chen Z. Automated modular fixture planning based on linkage mechanism theory. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2008. Vol. 11. pp. 38–49.
27. Vichare P., Nassehi A., Newman S.T. Unified representation of fixtures: clamping, locating and supporting elements in CNC manufacture. *International Journal of Production Research*. 2010. Vol. 16. pp. 5016–5032.
28. Ivanov V., Vashchenko S., Rong Y. Information Support of the Computer-aided Fixture Design System. *Proc. of 12th Int. Conf. ICTERI'2016 (21–24.06.2016, Kyiv), Ukraine, CEUR-WS.org*, online CEUR-WS.org/Vol-1614/paper_37.pdf.

Стаття надійшла до редакції 15.12.2018