

В.О. Іванов, В.Є. Карпуть, І.М. Дегтярьов, І.В. Павленко, В.Р. Богдан

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ВАЖЕЛІВ

У статті запропоновано конструкцію верстатного пристрою, який забезпечує достатню інструментальну доступність і дозволяє виконувати багатокоординатну обробку деталей типу важелів при одному закріпленні. Дослідження, виконані методами чисельного моделювання, підтвердили, що запропонована конструкція відповідає усім параметрам точності. Результати досліджень напружено-деформованого стану показали, що величини переміщень і напружень, які виникають у процесі механічної обробки, у запропонованому верстатному пристрої менші, ніж у стандартних. Проведений модальний аналіз підтвердив, що запропонований верстатний пристрій має значно вищу динамічну жорсткість, ніж стандартні верстатні пристрої. Моделювання виконувалося для обробки важелів із сталі, чавуна, алюмінієвого сплаву. Визначені залежності переміщень і напружень від глибини різання, що дозволяє оптимізувати процес механічної обробки.

Ключові слова: верстатний пристрій, технологічний процес, фрезерування, напружено-деформований стан, напруження, переміщення, точність, частота.

Вступ. Важливу роль у забезпеченні випуску конкурентоспроможної продукції відіграють верстатні пристрої (ВП). Це підтверджується тим, що вони складають 70–80% від загального обсягу технологічної оснастки [1], 80–90% витрат на технологічну підготовку виробництва витрачається на проектування та виготовлення ВП [2], 10–20% загальної вартості виробничих систем становить вартість ВП [3], до 40% бракованих деталей у машинобудуванні виникає через недосконалість ВП [4].

Постановка проблеми. Сучасне машинобудування характеризується багатомітенклатурністю деталей, що випускаються. Збільшення номенклатури виробів потребує ускладнення проектно-конструкторських робіт із виготовлення технологічної оснастки, особливо ВП. Такі умови виробництва вимагають частих переналагоджень на обробку іншої партії деталей, що ставить питання про економічність проектування та виготовлення спеціальних ВП для деталей конкретного типорозміру. Тому актуальним є впровадження гнучких ВП, які забезпечують переналагодження на інший типорозмір деталей [5].

Аналіз останніх досліджень і літератури. Сучасна тенденція реалізації механічної обробки – висока інтенсифікація технологічних процесів (ТП), тобто скорочення витрат штучного часу за рахунок зменшення частки допоміжного часу, що в умовах жорсткої конкуренції на ринку, багатомітенклатурності деталей машинобудування та можливостей сучасних металорізальних верстатів – є актуальною задачею на сьогодні [6]. Одним із основних рішень щодо підвищення інтенсифікації механічної обробки є розроблення та впровадження прогресивних ВП, які мають високий ступінь гнучкості, дозволяють виконувати механічну обробку за мінімальну кількість установлень за рахунок підвищення інструментальної досту-

пності та забезпечення багатокоординатної обробки. Прагнення до обробки деталі за одне установлення є особливо актуальним для верстатів свердлильно-фрезерно-розточувальної групи, адже на них обробляються різні деталі складної просторової конфігурації із взаємним розташуванням поверхонь під різними кутами з малими допусками взаємного розташування. Це, як правило, потребує великої кількості установлень та частих змін схем базування, що безпосередньо впливає на точність виготовлення кінцевого продукту.

На вищевказаних верстатах, як правило, обробляються деталі типу корпусів, блоків циліндрів, планок, шатунів, кронштейнів, важелів тощо. Також виконується фрезерування шпонкових пазів і лисок на валах, свердління радіально-розташованих отворів у фланцях і дисках та отворів, розташованих під кутом.

Підвищення гнучкості та розширення технологічних можливостей ВП, скорочення підготовчо-заклучного часу на їх переналагодження, а, отже, підвищення ефективності використання металорізальних верстатів забезпечується за рахунок розроблення та впровадження швидкопереналагоджуваних базуючих модулів, які входять до комплексу універсально-збірних переналагоджуваних пристроїв [7, 8].

Розроблені конструкторські рішення для базування корпусних деталей за площиною [9–11], площиною та двома отворами [12, 13], у координатний кут [14], а також деталей типу тіл обертання з базуванням за зовнішніми циліндричними поверхнями [15–19] та внутрішніми циліндричними поверхнями [20, 21] показали високу ефективність в умовах сучасного машинобудування.

У машинобудуванні, зокрема в автомобільній промисловості, досить розповсюдженим є клас деталей складної форми, до якого належать важелі, кронштейни, вилки, шатуни, кулісні, тягові та інші деталі, які входять до класу 74 згідно ЄСКД 1.79.100

ОК 012-93. Вони характеризуються наявністю великої кількості поверхонь, розташованих у різних площинах під різними кутами одна до іншої. Незважаючи на їх складну просторову геометричну форму, їх елементарні поверхні прості (циліндричні та конічні отвори, шпонкові пази, площини, уступи тощо) [22].

Деталі даного класу характеризуються складністю схем установлення та недостатньою інструментальною доступністю, що обумовлено складним розташуванням поверхонь у просторі, тому досить складно навіть на сучасному обладнанні забезпечити багатокоординатну обробку деталей та інтенсифікувати технологічний процес їх виготовлення.

У даний час обробка деталей складної форми виконується із застосуванням спеціальних або універсально-збірних ВП, які або виключають можливість переналадження, або дозволяють виконувати його в малому діапазоні розмірів [23].

Метою даної роботи є обґрунтування доцільності розроблення ВП, який забезпечує можливість переналадження елементів ВП для встановлення деталей типу важелів у певному діапазоні розмірів, підвищує інструментальну доступність та дозволяє виконувати багатокоординатну обробку, а також довести, що запропонована конструкція ВП забезпечує задані показники точності при механічній обробці деталей і порівняти з аналогічними показниками спеціального та збірного ВП.

Матеріали досліджень. Об'єктом дослідження обрано деталі типу важелів, які є складовими багатьох агрегатів і вузлів машинобудівної продукції, особливо в автомобільній промисловості. Хоча різноманітність моделей автомобілів у наш час досить велике, проте основні їх механізми, де присутні важелі, відрізняються не суттєво. Різниця може бути лише у зміні типорозміру або розташуванні деяких поверхонь, тому доцільним є розроблення ВП, який забезпечить можливість установлення важелів різних автомобілів у певному діапазоні розмірів та форми, на відміну від спеціальних ВП, які дозволяють установлювати деталі лише одного типорозміру.

Розроблено переналагоджуваний установлювально-затискний модуль для обробки деталей типу важелів (рис. 1), який призначений для встановлення важелів різних типорозмірів у межах технічної характеристики, та дозволяє скоротити витрати часу на переналадження та забезпечити інструментальну доступність оброблюваних поверхонь [24].

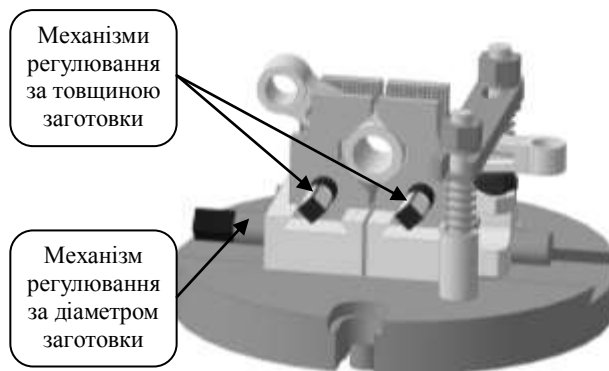


Рис. 1 – Переналагоджуваний установлювально-затискний модуль для обробки деталей типу важелів

Запропонована конструкція призначена для встановлення важелів у діапазоні діаметрів центральної бобишки та різною товщиною плечей, що здійснюється шляхом регулювання гвинтових механізмів, які забезпечують зміну відстані між установлювально-затискними елементами. Переналагоджуваний установлювально-затискний модуль може бути встановлений як на столі верстата, так і на базових платформах, що входять до різних комплектів збірних ВП.

Таке технічне рішення у сукупності з обертним столом верстата дозволяє виконати всі свердильно-фрезерно-розточувальні операції при незмінному закріпленні заготовки на одній комплексній операції, виконуваний на оброблювальному центрі з ЧПК. Таким чином, ТП скорочується на 5 операцій (рис. 2).

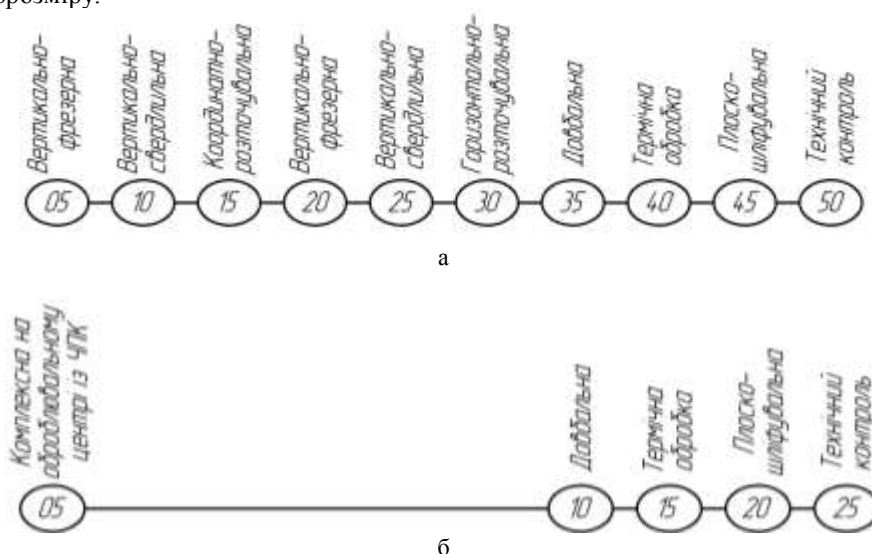


Рис. 2 – Порівняння технологічних маршрутів обробки деталі «Важіль»:
а – типовий технологічний процес; б – запропонований технологічний процес

Для визначення можливості досягнення точності розмірів, форми та взаємного розташування поверхонь важеля при проведенні механічної обробки виконано дослідження напружено-деформованого стану (НДС) та визначено переміщення елементів системи «ВП – заготовка» під дією зовнішніх навантажень (сили закріплення та різання, моменти). Досліджено міцність ВП шляхом визначення еквівалентних напружень у місцях контакту, виявлено концентратори напружень, де величини напружень перевищують допустиме значення для конкретного матеріалу. Для цього поряд із вирішенням задачі з визначення НДС потрібно розв'язувати також і контактну задачу.

Встановлено залежність величини напружень та переміщень від сил і моментів для прогнозування відхилень від номінальних розмірів, що безпосередньо будуть впливати на точність механічної обробки. Проведено дослідження зі змінами силових факторів на переходах фрезерування бобишок торців важеля, де можливе варіювання глибинами різання.

За допомогою вбудованого модуля Modal Analysis у розрахунковому комплексі ANSYS Workbench визначено частоти власних коливань ВП, які порівняно з частотами дії знакозмінних компонент сил і моментів різання на всіх переходах свердильно-фрезерно-розточувальних операцій.

При розрахунках усі елементи ВП зв'язувались між собою шляхом об'єднання вузлів. Для деяких поверхонь елементів ВП передбачено можливість відносного переміщення з коефіцієнтом тертя [25]. Типи контактів і характеристики контактних пар між поверхнями елементів наведено в табл. 1.

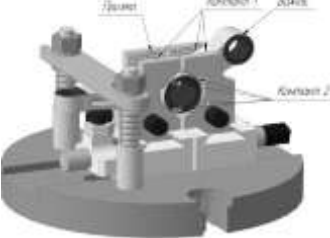
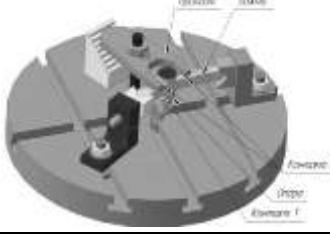
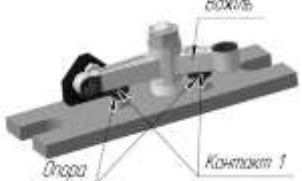
Результати досліджень.

За допомогою ANSYS Workbench побудовані розрахункові схеми та отримані значення переміщень та напружень, що виникають у елементах ВП та заготовці, а також у місцях їх контакту. Результати проведеного чисельного моделювання для важелів із різних груп матеріалів (сталь 40XH, сірий чавун СЧ20 та алюмінієвий сплав АЛ4) з визначеними значеннями максимальних еквівалентних напружень за IV гіпотезою міцності Губера-Мізеса [26], та максимальних переміщень, що виникли при моделюванні процесу механічної обробки для ВП типового та запропонованого ТП, наведені у табл. 2. Ілюстрації результатів моделювання при фрезеруванні торця бобишки головного отвору наведені на рис. 3–6.

Для виявлення залежності величини переміщень від глибини різання виконано моделювання фрезерування торця бобишки допоміжного отвору важеля, розташованого перпендикулярно головному. Результати моделювання наведені у табл. 3. За отриманими даними побудовано графіки залежності величини переміщень і напружень від глибини різання (рис. 7, 8).

Переміщення, що виникають на всіх переходах механічної обробки в стандартних ВП більші, ніж у запропонованому ВП. Це свідчить про те, що за інших рівних умов відхилення розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь деталі, що обробляється в запропонованому ВП, будуть меншими, а, отже, точність обробки збільшуватиметься. Напруження на деяких переходах при обробці в запропонованому ВП більші, ніж у стандартному ВП, що пояснюється різними величинами площі контактної взаємодії елементів ВП і заготовки, частково викликаних характером прикладання сил закріплення для ВП різних конструкцій.

Таблиця 1 – Ескізи ВП та групи контактних пар

ВП	Схема розташування контактів	Характеристика реалізованих груп з'єднань
Запропонований		Контакт 1 – «бокові поверхні призм – бокові поверхні важеля»: поверхні призм – рифлені; поверхні заготовки – необроблені; коефіцієнт тертя – 0,7; Контакт 2 – «робочі поверхні призм – циліндричні поверхні важеля»: поверхні призм – гладкі; поверхні заготовки – необроблені; коефіцієнт тертя – 0,2.
Стандартний для операцій 05-15 типового ТП		Контакт 1 – «опора – торець важеля»: поверхня опори – рифлена; поверхня заготовки – необроблена; коефіцієнт тертя – 0,7; Контакт 2 – «затискні поверхні прихоплювача – бокові поверхні важеля»: поверхні прихоплювача – гладкі; поверхні заготовки – необроблені; коефіцієнт тертя – 0,2.
Стандартний для операцій 20-30 типового ТП		Контакт 1 – «опора – бокові поверхні важеля»: поверхні опор – рифлені; поверхні заготовки – необроблені; коефіцієнт тертя – 0,7.

Для чистових переходів із рис. 7 можна визначити допустимі глибини різання, при яких переміщення, що виникають при обробці, не будуть перевищувати величини допустимих відхилень розмірів. Це дозволить більш точно прогнозувати досягнення точності обробки на конкретній операції чи переході.

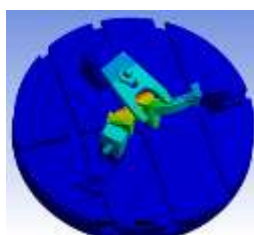
Із рис. 8 можуть бути визначені допустимі глибини різання, при яких відсутні залишкові деформації. Це дозволяє підвищити продуктивність механічної обробки за рахунок використання максимальних можливостей інструмента та верстата.

Для запобігання виникнення явища резонансу в процесі механічної обробки важеля необхідно, щоб час-

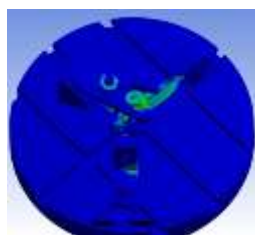
тота власних коливань елементів ВП не співпадала з частотою процесу різання. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є призначення інших режимів різання. Для цього за допомогою вбудованого модуля Modal Analysis у розрахунковому комплексі ANSYS Workbench визначені частоти власних коливань ВП для типового та запропонованого ТП та виконано їх порівняння з частотами, які виникають у процесі механічної обробки (табл. 4). Результати аналізу дозволяють визначати необхідне відлаштування від резонансу.

Таблиця 2 – Результати чисельного моделювання обробки важелів із різних матеріалів

Технологічний перехід, де виникають найбільші навантаження	Матеріал важеля	Максимальні переміщення, мм		Максимальні напруження, МПа	
		Типовий ТП	Запропонований ТП	Типовий ТП	Запропонований ТП
Фрезерування торця бобишки головного отвору	40XH	0,08	0,017	132	174
	СЧ20	0,03	0,015	78	122
	АЛ4	0,03	0,015	74	121
Свердління головного отвору	40XH	0,02	0,019	72	101
	СЧ20	0,01	0,017	44	73
	АЛ4	0,01	0,019	38	61
Фрезерування бобишки допоміжного отвору, розташованого паралельно головному	40XH	0,18	0,11	604	589
	СЧ20	0,18	0,12	372	364
	АЛ4	0,17	0,14	299	288
Свердління бобишки допоміжного отвору, розташованого паралельно головному	40XH	0,15	0,14	446	620
	СЧ20	0,15	0,13	295	420
	АЛ4	0,13	0,13	238	342
Фрезерування бобишки допоміжного отвору, розташованого перпендикулярно головному	40XH	0,05	0,046	208	134
	СЧ20	0,05	0,05	143	91
	АЛ4	0,05	0,05	130	83
Свердління бобишки допоміжного отвору, розташованого перпендикулярно головному	40XH	0,19	0,12	348	307
	СЧ20	0,23	0,16	302	243
	АЛ4	0,21	0,18	235	199

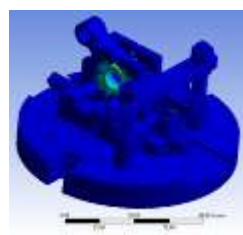


а

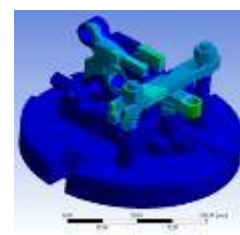


б

Рис. 3 – Ілюстрації результатів моделювання для стандартного ВП для операцій 05–15 типового ТП: а – картина напружень; б – картина переміщень

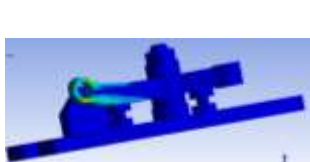


а

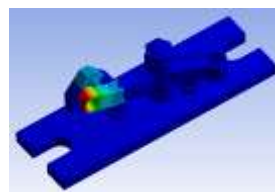


б

Рис. 4 – Ілюстрації результатів моделювання для запропонованого ВП: а – картина напружень; б – картина переміщень

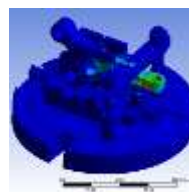


а

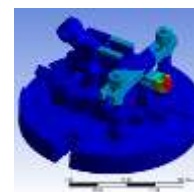


б

Рис. 5 – Ілюстрації результатів моделювання для стандартного ВП для операцій 05-15 типового ТП: а – картина напружень; б – картина переміщень



а



б

Рис. 6 – Ілюстрації результатів моделювання для запропонованого ВП: а – картина напружень; б – картина переміщень

Таблиця 3 – Результати чисельного моделювання фрезерування бобишки допоміжного отвору, розташованого перпендикулярно головному

Глибина різання, мм	Максимальні переміщення, мм		Максимальні напруження, МПа	
	Типовий ТП	Запропонований ТП	Типовий ТП	Запропонований ТП
0,25	0,016	0,018	65	42
0,5	0,027	0,026	115	76
1	0,05	0,047	208	134
2	0,091	0,084	375	241
3	0,128	0,118	529	339
4	0,164	0,152	677	434

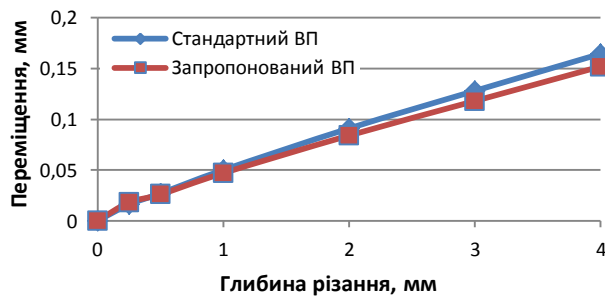


Рис. 7 – Графік залежності величини переміщень від глибини різання

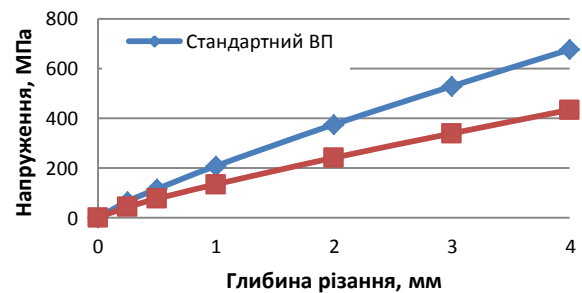


Рис. 8 – Графік залежності величини напружень від глибини різання

Таблиця 4 – Результати дослідження власних коливань верстатних пристроїв

Верстатний пристрій	1-ша критична частота, Гц	2-га критична частота, Гц	3-я критична частота, Гц	Частота процесу різання, Гц
Стандартний для операцій 05–15 типового ТП	2186	2595	2835	2229
Стандартний для операцій 20–30 типового ТП	5888	7268	8250	766
Запропонований	6125	7830	8915	2229

Із табл. 4 видно, що для ВП операцій 05–15 типового ТП робоча частота різання майже співпадає з власною частотою, що свідчить про появу резонансу. Для інших ВП явище резонансу не виникне, оскільки перша критична частота значно перевищує частоту процесу різання.

Таким чином, розроблений ВП для реалізації запропонованого ТП є більш жорстким ніж ВП для реалізації типового ТП, оскільки перша критична частота у 1,04 і 2,8 разів перевищує критичну частоту для ВП операцій 05–15 і 20–30 відповідно. Це свідчить про збільшення динамічної жорсткості розробленого ВП майже у 9 разів.

Висновки.

Доведено, що розроблені технічні рішення сприяють інтенсифікації ТП механічної обробки та не призводять до погіршення показників точності. Проведені дослідження НДС показали, що розроблена конструкція ВП для обробки важелів забезпечує багатокординатну обробку та відповідає умовам міцності, а також значно скорочує витрати допоміжного та підготовчо-заключного часу.

Результати чисельного моделювання НДС процесу механічної обробки важеля у ВП різних конструкцій показали, що обробка в розробленому ВП має більш високі точнісні показники порівняно зі стандартними ВП за рахунок меншої величини переміщень – у середньому на 0,01–0,05 мм.

Напруження, що виникають в елементах ВП і місцях контакту із заготовкою при обробці, відрізняються незначно, у межах 10–50 МПа, і не перевищують допустимих значень для елементів ВП і заготовки. Істотна відмінність значень на 100 МПа на переході свердління бобишки допоміжного отвору, перпендикулярного головному, можна пояснити різним характером сприйняття навантаження внаслідок відмінності конструкцій ВП. Однак, це не є критичним, оскільки при коефіцієнті запасу міцності для даної системи 1,5, максимальні напруження, що виникають на цьому переході не перевищують допустимих значень.

Подальші дослідження спрямовані на експериментальну перевірку результатів чисельного моделювання процесу механічної обробки деталі типу важелів, що дозволить оцінити ефективність розробленого технічного рішення, а також розробку ВП для обробки інших деталей складної форми, використовуючи новий підхід до проектування.

Список літератури: 1. Ряховский А. В. Разработка и внедрение комплекта унифицированной технологической оснастки для обработки корпусных деталей специзделий [Текст] : дис. канд. техн. наук : 05.02.08 / Ряховский Алексей Владимирович. – Харків, 1996. – 135 с. 2. Іванов В.О. Вибір оптимальних компоновок верстатних пристроїв для верстатів з ЧПК [Текст] : дис. канд. техн. наук : 05.02.08 / Іванов Віталій Олександрович. – Харків, 2010. – 239 с. 3. Hashemi H. A case-based reasoning for design of machining fixture [Text] / H. Hashemi, A. M. Shaharoun, I. Sudin // Int Journal of Manu-

facturing Technology, 2014. – Vol. 74. – P. 113–124. **4.** Wang H. Computer aided fixture design: recent research and trends [Text] / H. Wang, Y. Rong, H. Li, P. Shaun // Computer-Aided Design, 2010. – Vol. 42 (12). – P. 1085–1094. **5.** Карпуть В. Е. Обоснование выбора системы приспособлений в серийном производстве [Текст] / В. Е. Карпуть, В. А. Иванов // Високи технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2008. – Вип. 1 (16). – С. 125–134. **6.** Карпуть В. Е. Интенсификация процессов механической обработки [Текст] : монография / В. Е. Карпуть, В. О. Иванов, О. В. Котляр та ін.; за ред. В. Е. Карпуся. – Суми : Сумський державний університет, 2012 – 436 с. **7.** Карпуть В. Е. Универсально-сборные переналаживаемые приспособления [Текст] / В. Е. Карпуть, В. А. Иванов // Вестник машиностроения. – 2008. – No11. – С. 46–50. **8.** Karpus' V. E. Universal-composite adjustable machine-tool attachments [Text] / V. E. Karpus', V. A. Ivanov // Russian Engineering Research, 2008. – Vol. 28, No. 11. – P. 1077–1083. **9.** Пат. на корисну модель No 71870, Україна, МПК (2012) B23 B39/00. Переналагоджуваний базуючий модуль [Текст] / Іванов В. О., Дегтярьов І. М., Кушніров П. В. **10.** Пат. на корисну модель No 96399 Україна, МПК (2015) B23B 39/00. Переналагоджуваний базуючий модуль [Текст] / Іванов В. О., Дегтярьов І. М. **11.** Швидкопереналагоджувані базуючі модулі для встановлення корпусних деталей [Текст] / В. Е. Карпуть, В. О. Іванов, Д. О. Мінченко, І. М. Дегтярьов. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2012. – No 2. – С. 91–94. **12.** Пат. на корисну модель No 60130 Україна, МПК (2011) B23B 39/00. Переналагоджуваний базуючий модуль [Текст] / Іванов В. О., Карпуть В. Е. **13.** Пат. на корисну модель No 67918 Україна, МПК (2012) B23B 39/00, B23B 39/00. Переналагоджуваний базуючий модуль [Текст] / Іванов В. О., Карпуть В. Е., Романенко І. В. **14.** Пат. на корисну модель No 59745 Україна, МПК (2011) B23B 39/00. Переналагоджуваний базуючий модуль [Текст] / Іванов В. О., Карпуть В. Е. **15.** Пат. на корисну модель No 31416 Україна, МПК (2006) B23B 39/00. Базуюча призма, що автоматично регулюється [Текст] / Карпуть В. Е., Іванов В. О. **16.** Карпуть В. Е. Вибір базуючих модулів для установа валів при обробці на свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатах [Текст] / В. Е. Карпуть, В. О. Іванов, К. С. Вараксіна. // Резание и инструмент в технологических системах. – 2009. – No 76. – С. 55–62. **17.** Карпуть В. Е. Экспериментальные исследования точности обработки валов при базировании в призмах [Текст] / В. Е. Карпуть, В. А. Иванов, А. В. Ряховский. // Вісник Сумського державного університету. – 2010. – No 4. – С. 24–27. **18.** Карпуть В. Е. Точность базирования валов в призмах [Текст] / В. Е. Карпуть, В. А. Иванов // Вестник машиностроения. – 2012. – No 2. – С. 40–45. **19.** Karpus V. E. Locating accuracy of shafts in V-blocks [Text] / V. E. Karpus, V. A. Ivanov. // Russian Engineering Research, 2012. – Vol. 32 No 32. – P. 144–150. **20.** Пат. на корисну модель No 30999 Україна, МПК (2006.01) B23Q 3/06. Оправка розтискна [Текст] / Карпуть В. Е., Іванов В. О. **21.** Пат. на корисну модель No 95074 Україна, МПК (2014.01) B23B 39/00. Переналагоджуваний базуючий модуль [Текст] / Іванов В. О., Дегтярьов І. М. **22.** Іванов В. А. Конструктивные особенности деталей сложной формы в структуре автомобиля [Текст] / В. А. Иванов, И. М. Дегтярев // Прогрессивные технологии и процессы : сборник статей Международ. молод. научно-техн. конф., 25–26 сентября 2014 г., Курск. – С. 238–243. **23.** Боровік А. І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва [Текст] : книга / А. І. Боровік. – К.: Кондор, 2008. – 726 с. **24.** Переналагоджуваний установлювально-затискний модуль для установа деталей типу важелів [Текст] : заявка u201413066 Україна : МПК 2015.01; B23B 39/00 / Іванов В. О., Дегтярьов І. М., Карпуть В. Е. ; заявник Сумський державний університет; заявл. 05.12.2014. **25.** Справочник технолога-

машиностроителя [Текст] : справочник : в 2 т. / А. М. Дальский, А. Г. Суслова, А. Г. Косилова, Р. К. Мецержаков. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 944 с. **26.** Тимошенко С. П. Теория упругости [Текст] / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М.: Наука, 1975. – 576 с.

Bibliography (transliterated): **1.** Rjahovskij A. V. *Razrabotka i vvedenie komplekta unificirovannoj tehnologicheskoy osnastki dlja obrabotki korpusnyh detalej specizdelij*, Kharkiv, 1996. – 135 p. Print. **2.** Ivanov V.O. *Vy`bir opty`mal`ny`x komponovok verstatnyh pry`stroiyv dlya verstativ z ChPK*, Kharkiv, 2010. – 239 p. Print. **3.** Hashemi H. A., Shaharoum A. M., Sudin I. *Case-based reasoning for design of machining fixture*, 2014. Vol. 74. – P. 113–124. Print. **4.** Wang H., Rong Y., Li H., Shaun P. *Computer aided fixture design: recent research and trends*, 2010. Vol. 42 (12). – P. 1085–1094. Print. **5.** Karpus` V.E., Ivanov V.A. *Obosnovany`e vibora sy`stemi pry`sposobleny`j v sery`jnom proy`zvodstve* Kharkiv. *Vy`soki tehnologiyi v mashy`nobuduvanni*, 2008. Publ. 1(16) – PP. 125-134. Print. **6.** Karpus` V.E., Ivanov V.O., Kotlyar O.V. *Intensy`fikaciya procesiv mexanichnoyi obrobky`*. Sumy, 2012. – 436 p. Print. **7.** Karpus` V.E., Ivanov V.A. *Universal`no-sbornye perenalazhivaemye prispособleniya*, 2008. . – No11. – PP. 46–50. Print. **8.** Karpus` V.E., Ivanov V.A. *Universal-composite adjustable machine-tool*, 2008. Vol. 28, No. 11. – PP. 1077–1083. Print. **9.** Ivanov V.O., Degtyar`ov I.M., Kushnirov P.V. *Pat. na kory`snu model. Perenalagodzhuvalny`j bazuyuchy`j modul`*, 2012. Print. **10.** Ivanov V.O., Degtyar`ov I.M. *Pat. na kory`snu model. Perenalagodzhuvalny`j bazuyuchy`j modul`*, 2015. Print. **11.** Karpus` V.E., Ivanov V.O., Minenko D.O., Degtyar`ov I.M. *Shvy`dkoperenalagodzhuvalni bazuyuchi moduli dlya vstanovlennya korpusnyh detalej*, 2012. Print. **12.** Ivanov V.O., Karpus` V.E. *Pat. na kory`snu model 60130. Perenalagodzhuvalny`j bazuyuchy`j modul`*, 2011. Print. **13.** Ivanov V.O., Karpus` V.E., Romanenko I.V. *Pat. na kory`snu model. Perenalagodzhuvalny`j bazuyuchy`j modul`*, 2012. Print. **14.** Ivanov V.O., Karpus` V.E. *Pat. na kory`snu model 59745. Perenalagodzhuvalny`j bazuyuchy`j modul`*, 2011. Print. **15.** Ivanov V.O., Karpus` V.E. *Pat. na kory`snu model. Bazuyucha pry`zma, shho avtomaty`chno reguluyet`sya*, 2006. Print. **16.** Karpus` V.E., Ivanov V.O., Varaksina K.S. *Vy`bir bazuyuchykh moduliv dlya ustanovlennya valiv pry` obrobci na sverdlyl`no-frezerno-roztochuval`nyh verstatah*, 2009. No 76. – PP. 55–62. Print. **17.** Karpus` V.E., Ivanov V.A., Rjahovskij A.V. *Eksperymental`nye issledovaniya tochnosti obrabotki valov pri bazirovani` v prizmah*, 2010. No 4. – PP. 24–27. Print. **18.** Karpus` V.E., Ivanov V.O. *Tochnost` bazirovaniya valov v prizmah*, 2012. No 2. – PP. 40–45. Print. **19.** Karpus V. E., Ivanov V. A. *Locating Accuracy of Shafts in V-blocks*, 2012. Vol. 32 No 32. – PP. 144–150. Print. **20.** Karpus` V.E., Ivanov V.O. *Pat. na kory`snu model. Opravka rozty`ska*, 2006. Print. **21.** Ivanov V.O., Degtyar`ov I.M. *Pat. na kory`snu model. Perenalagodzhuvalny`j bazuyuchy`j modul`*, 2014. Print. **22.** Ivanov V.A., Degtyarev I.M. *Konstruktivnye osobennosti detalej slozhnoy formy v strukture avtomobilja*. Kursk. *Progressivnye tehnologii i process*, 2014. – PP. 238–243. Print. **23.** Borovik A.I. *Tehnologichna osnastka mexanoskladal`nogo vy`robnny`ctva*, 2008. – 726 p. Print. **24.** Ivanov V.O., Degtyar`ov I.M., Karpus` V.E. *Perenalagodzhuvalny`j ustanovlyuval`no-zaty`skny`j modul` dlya ustanovlennya detalej ty`pu vazheliv` : zayavka u201413066*, 2015. **25.** Dal'skij A. M., Suslova A.G., Kosilova A.G., Meshherjakov R.K. *Spravochnik tehnologa-mashinostroitelja*, 2001. Vol. 2. – 944 p. Print. **26.** Timoshenko S.P., Gud'er Dzh. *Teoriya uprugosti*, 1975. – 576 p. Print.

Надійшла (received) 22.03.2015

Іванов Віталій Олександрович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету, тел. (0542) 68-78-52, e-mail: ivanov@tmvi.sumdu.edu.ua;

Карпуть Владислав Євгенович – докт. техн. наук, професор, професор кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України;

Дегтярьов Іван Михайлович – аспірант кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету;

Павленко Іван Володимирович – канд. техн. наук, старший викладач кафедри загальної механіки і динаміки машин Сумського державного університету;

Богдан Валерія Ростиславівна – магістрант, Сумський державний університет.