

УДК 621.9-114

В. О. ІВАНОВ, В. Є. КАРПУСЬ, І. М. ДЕГТЯРЬОВ**КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СВЕРДЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНО-РОЗТОЧУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ**

Забезпечення високої якості продукції неможливе без сучасного металорізального обладнання з ЧПК. У дослідженні розглянуто сучасний стан верстатобудівної галузі, зокрема здійснено статистичний аналіз виготовлення свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів у Японії, Тайвані, Німеччині. Проаналізовано які типи верстатів є найбільш затребуваними на машинобудівних виробництвах країн, що розглядаються. Виконано аналіз за 11 технічними характеристиками сучасних свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів вертикального та горизонтального компонувань світових виробників. Опираючись на результати проведеного аналізу, можна кількісно говорити про найбільш затребувані технічні характеристики обладнання для обробки різанням на сьогоднішній день.

Ключові слова: верстат, оброблювальний центр, компонування, продуктивність, точність, система ЧПК, обробка різанням.

Обеспечение высокого качества продукции невозможно без современного металлорежущего оборудования с ЧПУ. В исследовании рассмотрено современное состояние станкостроительной отрасли, в частности выполнено статистический анализ изготовления сверлильно-фрезерно-расточных станков в Японии, Тайване, Германии. Проанализировано, какие типы станков являются наиболее востребованными на машиностроительных предприятиях стран, что рассматриваются. Выполнен анализ по 11 техническим характеристикам современных сверлильно-фрезерно-расточных станков вертикальной и горизонтальной компоновок мировых производителей. Опираясь на результаты выполненного анализа, можно количественно говорить про наиболее востребованные технические характеристики оборудования для обработки резанием на сегодняшний день.

Ключевые слова: станок, обрабатывающий центр, компоновка, производительность, точность, система ЧПУ, обработка резанием.

It is impossible to ensure high-quality products without modern metal-cutting equipment with computer numerical control. The present research represents the current state of machine tool building industry; in particular, statistical analysis of drilling-milling-boring machine tools production in Japan, Taiwan and Germany has been carried out. The analysis has presented what types of machine tools are the most demanded in the machine-building manufacturing of the countries under consideration. According to 11 technical characteristics the analysis of drilling-milling-boring machine tools of vertical and horizontal configuration made by world manufacturers has been conducted. Based on the analysis's results we can speak about the most demanded technical characteristics of equipment for cutting today.

Keywords: machine tool, machining center, configuration, productivity, accuracy, CNC system, cutting.

Вступ

Багатоцільові верстати свердильно-фрезерно-розточувальної групи складають значну частку у парку металорізального обладнання. На них можлива комплексна послідовна обробка деталей різними інструментами з їх автоматичною заміною з інструментального магазину. У більшості випадків верстати оснащуються поворотними або глобусними столами, які дозволяють виконувати обробку складних деталей із кількох сторін при незмінному закріпленні. На таких верстатах, як правило, оброблюють плоскі та корпусні деталі, а також деталі складної форми. Аналіз обсягів виробництва металорізального обладнання та структури випуску верстатів за групами на прикладі провідних верстатобудівних країн (Японія, Тайвань, Німеччина) показав, що саме верстати свердильно-фрезерно-розточувальної групи превалюють у сучасному верстатобудуванні.

1 Статистичний аналіз верстатобудування у провідних країнах світу**1.1 Аналіз японського верстатобудування**

Статистичні дані [1] свідчать, що кількість свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів, які виготовляються японською верстатобудівною галуззю, значно перевищують інші групи верстатів (табл. 1). У 2014 р. це значення досягло 60% (рис. 1). Частка токарних верстатів за останні 4 роки змінювалася у межах 19–27% від загальної кількості верстатів. Обсяг виготовлення інших груп верстатів майже не змінюється впродовж аналізованого періоду часу. Переважають оброблювальні центри, які становлять 95,4% від усіх верстатів свердильно-фрезерно-розточувальної групи (рис. 2). Детальний

аналіз показав, що у 2014 р. 91,3% оброблювальних центрів виготовлено з вертикальним компонуванням. Спостерігається тенденція до зменшення свердильних верстатів, темпи виготовлення яких за 3 роки зменшилися у 4,5 рази та у 2014 р. становлять лише 3,3% у загальному обсязі свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів. Кількість фрезерних верстатів збільшилася у 2 рази, але у кількісному співвідношенні це мізерні обсяги (табл. 2). Рівень автоматизації верстатів на дуже високому рівні, частка верстатів із ЧПК, які виготовлялися у період 2004–2014 рр., становить 83–90% від усього обсягу виготовлених верстатів у Японії [2]. У 2014 р. ця величина досягла 90,4%, що на 1,1% більше, ніж у попередньому році [1].

Кошти, отримані від експорту японських верстатів, розподілилися таким чином: 60,7% коштів від загальної суми експорту, отримані від країн азійсько-тихоокеанського регіону, 24,3% – американського регіону, 15% – європейського регіону. У структурі експорту частка свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів становить 51,9% від загальної кількості експортованих верстатів. У 2014 р. експортовано 64398 свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів, серед яких 81,6% – оброблювальні центри [1].

1.2 Аналіз тайванського верстатобудування

Найбільшим виробником та експортером продукції у Тайвані є верстатобудівна галузь. Загалом у Тайвані 1487 виробників обладнання, більшість із яких це малий та середній бізнес [3]. У розрізі світового верстатобудування Тайвань посідає 7 позицію з обсягом виробництва 4,03 млрд. дол. США [4].

© В. О. Іванов, В. Є. Карпусь, І. М. Дегтярьов, 2016

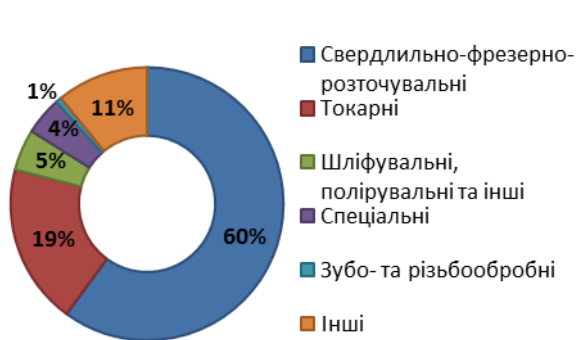


Рис. 1 – Розподіл верстатів, виготовлених у Японії у 2014 році, за групами верстатів

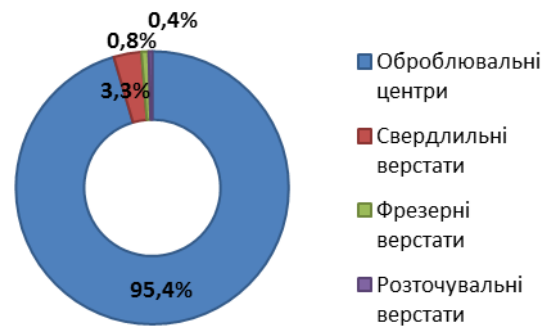


Рис. 2 – Розподіл верстатів, виготовлених у Японії у 2014 році, за типами верстатів свердильно-фрезерно-розточувальної групи

Таблиця 1 – Статистичні дані з виготовлення верстатів у Японії у 2011–2014 роках

Групи верстатів	Річний випуск верстатів, шт.			
	2011	2012	2013	2014
Свердильно-фрезерно-розточувальні	44815	54055	23310	59690
Токарні	18258	17940	15579	18890
Шліфувальні, полірувальні та інші	5474	6044	4515	4860
Спеціальні	3656	4543	3806	4481
Зубо- та різьбообробні	1009	942	596	664
Інші	12271	10125	8974	10822

Таблиця 2 – Статистичні дані з виготовлення свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів у Японії у 2011–2014 роках

Типи верстатів	Річний випуск верстатів, шт.			
	2011	2012	2013	2014
Оброблювальні центри	35329	45998	19229	56964
Свердильні верстати	8858	7321	3398	1969
Фрезерні верстати	256	447	438	500
Розточувальні верстати	372	289	245	257

Аналіз тайванського верстатобудування за період 2009–2012 рр. [5] показав стабільні дані щодо виготовлення свердильно-фрезерно-розточувального обладнання на рівні 15–19% у загальному обсязі виробництва металорізальних верстатів (рис. 3). Кількість токарних верстатів, що виготовляються, зменшилася на 16,6% порівняно з 2009 р. (табл. 3).

У 2012 р. виготовлено у 2,3 рази більше оброблювальних центрів, ніж у 2009 р., але майже на 19% менше, ніж у 2011 р. (табл. 4). У відсотковому співвідношенні їх частка становить 45% від загального обсягу виготовленого свердильно-фрезерно-розточувального обладнання (рис. 4). Частка свердильних верстатів майже не змінилася за період, що розглядається, але у кількісному співвідношенні збільшилося виготовлення верстатів майже у 1,7 рази. Виготовлення фрезерних верстатів зросло на 47% порівняно з 2009 р. Рівень автоматизації верстатів залишається низьким, тобто кількість універсального обладнання значно перевищує кількість автоматизованого. Лише невелика кількість свердильних верстатів оснащується системами ЧПК і цей показник варіюється у межах 11,2–26,7%, що відповідає періоду 2009–2012 рр. Частка фрезерних верстатів із ЧПК становить 9,4–21,4% за аналогічний період. Найбіль-

ші значення показників рівня автоматизації відповідають 2010 р.

Тайванське верстатобудування є експортно-орієнтованим, близько 80% металорізального обладнання експортується за кордон у 138 країн світу [6]. Найбільшими замовниками тайванських верстатів є Китай (35,3%) і США (12,6%) [5]. У 2015 р. до США експортовано 378,81 млн доларів США. За перше півріччя 2016 р. Тайвань експортував металорізальні верстати на суму 1,35 млрд. доларів США, що відповідає 13,4% загального експорту продукції машинобудування Тайваню [7]. Частка свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів від загальної кількості верстатів, що йдуть на експорт, складає 17%. Переважно це оброблювальні центри.

У 2012 р. для потреб внутрішнього ринку Тайвань імпортував 78637 металорізальних верстатів, переважно з Японії (близько 58,3%). Але частка свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів незначна – 4,5% від загальної кількості імпортованих верстатів [5].

За перше півріччя 2016 р. Тайвань імпортував металорізальні верстати на суму 357,354 млн доларів США, що на 1,8% менше за відповідний період 2015 р., та становить 2,9% від загального імпорту машинобудівної продукції до Тайваню [7].

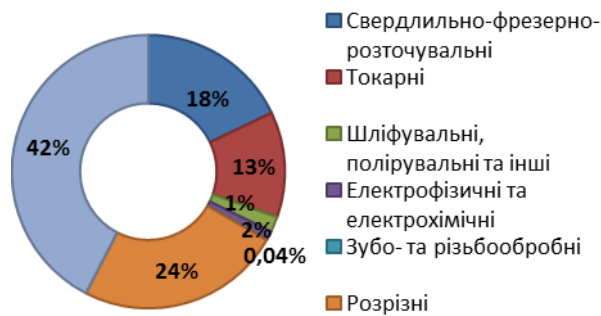


Рис. 3 – Розподіл верстатів, виготовлених у Тайвані у 2012 році, за групами верстатів

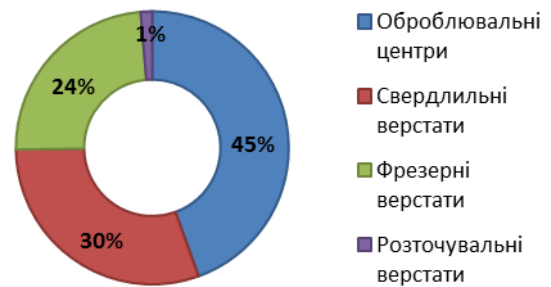


Рис. 4 – Розподіл верстатів, виготовлених у Тайвані у 2012 році, за типами верстатів свердильно-фрезерно-розточувальної групи

Таблиця 3 – Статистичні дані з виготовлення верстатів у Тайвані у 2009–2012 роках

Групи верстатів	Річний випуск верстатів, шт.			
	2009	2010	2011	2012
Свердильно-фрезерно-розточувальні	31115	55350	69084	57023
Токарні	47622	60670	38846	39722
Шліфувальні, полірувальні та інші	н/д	6327	6971	5787
Електрофізичні та електрохімічні	н/д	3760	3597	3492
Зубо- та різьбообробні	н/д	1007	203	130
Розрізні	н/д	71376	87653	77111
Інші	н/д	149252	158137	135092

Примітка: н/д – немає даних

Таблиця 4 – Статистичні дані з виготовлення свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів у Тайвані у 2009–2012 роках

Типи верстатів	Річний випуск верстатів, шт.			
	2009	2010	2011	2012
Оброблювальні центри	11077	21267	31420	25373
Свердильні верстати	10049	18755	18487	17278
Фрезерні верстати	9242	14640	18448	13587
Розточувальні верстати	747	688	729	785

За перше півріччя 2016 р. Тайвань імпортував металорізальні верстати на суму 357,354 млн доларів США, що на 1,8% менше за відповідний період 2015 р., та становить 2,9% від загального імпорту машинобудівної продукції до Тайваню [7].

1.3 Аналіз німецького верстатобудування

Верстатобудівна галузь є третьою у Німеччині за масштабом із обсягом виробництва близько 14 млрд. євро [8]. Відомо, що показники виготовлення обладнання за визначений період часу, у тому числі виражені у грошових одиницях, є одним із найбільш достовірних індикаторів стану справ у виробничих галузях національних економік. Аналіз німецького верстатобудування [9, 10], яке другий рік поспіль посідає другу позицію серед найбільших країн-виробників [4], показав, що у період 2006–2014 рр. також преважує випуск свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів (табл. 5).

У відсотковому співвідношенні протягом 2006–2014 рр. частки верстатів за групами залишаються майже незмінними. Так, частка свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів складає 38%, токарних – 20%, шліфувальних, полірувальних та інших – 15%, електрофізичних та електрохімічних – 7%,

зубо- та різьбообробних – 6%, розрізних – 3%, інших верстатів – 12% (рис. 5). 63% річного випуску свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів складають оброблювальні центри, що на 6% більше, ніж у 2006 р. Здебільшого це за рахунок зменшення обсягів виготовлення фрезерних верстатів (рис. 6). Частка випуску свердильних та розточувальних верстатів поступово збільшується, досягнувши у 2014 р. суму 232 млн. євро (табл. 6).

1.4 Аналіз інвестицій у нове металорізальне обладнання

Витрати коштів на обладнання – це запорука впевненого майбутнього машинобудівного виробництва, що дозволить підвищити ефективність та конкурентоздатність будь-якого підприємства. Опитування американських машинобудівних підприємств показало, що при оновленні верстатного парку 70% покупають нові верстати, 21% – ті, що були вжитку, 9% – відновлюють або модернізують існуюче обладнання. Модернізація верстата – це приблизно 30–40% вартості нового верстата такого ж призначення. Але збереження існуючих технологій не дозволяє оптимізувати виробничий процес виготовлення продукції, а ремонт верстатів буде відбуватися частіше.

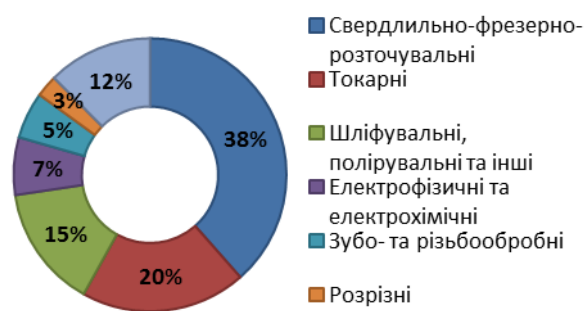


Рис. 5 – Розподіл верстатів, виготовлених у Німеччині у 2014 році, за групами верстатів

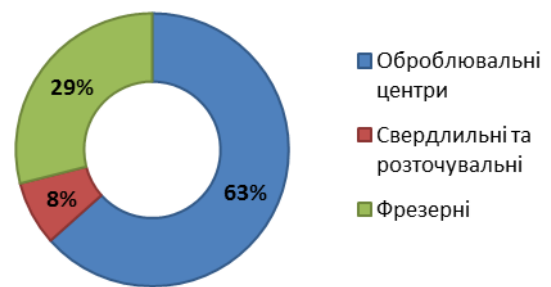


Рис. 6 – Розподіл верстатів, виготовлених у Німеччині у 2014 році, за типами верстатів свердильно-фрезерно-розточувальної групи

Таблиця 5 – Статистичні дані з виготовлення верстатів у Німеччині у 2006–2014 роках

Групи верстатів	Річний випуск верстатів, млн. євро								
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Свердильно-фрезерно-розточувальні	2320	2726	3214	2118	1911	2662	3123	3042	3045
Токарні	1112	1370	1565	1062	960	1491	1613	1542	1551
Шліфувальні, полірувальні та інші	973	1120	1226	853	710	1034	1180	1199	1150
Електрофізичні та електрохімічні	461	555	543	277	319	408	513	483	540
Зубо- та різьбообробні	457	543	748	619	528	575	581	529	437
Розрізні	205	238	268	145	149	202	202	194	206
Інші	469	536	650	566	517	632	796	952	983

Таблиця 6 – Статистичні дані з виготовлення свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів у Німеччині у 2006–2014 роках

Типи верстатів	Річний випуск верстатів, млн. євро								
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Оброблювальні центри	1310	1542	1913	1269	1081	1699	1961	1843	1931
Свердильні та розточувальні верстати	148	188	215	146	162	187	215	229	232
Фрезерні верстати	862	996	1086	703	668	776	947	970	882

Таблиця 7 – Статистичні дані зі споживання верстатів у США у 2010–2015 роках

Групи верстатів	Споживання верстатів, млн. дол. США					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Свердильно-фрезерно-розточувальні	1680,1	2694,7	2796,6	3065,6	3147	3226,1
Токарні	1150,8	2780,9	2993,1	1972,9	2097,6	3057,9
Шліфувальні, полірувальні та інші	131,8	254,3	458,8	391,3	455,6	697
Електрофізичні та електрохімічні	58,1	60,4	106,7	92,5	133,3	204,6
Інші	729,8	612,4	780,8	890,9	587,6	1369

До витрат, пов'язаних із придбанням верстата належить не лише вартість верстата, а й витрати на його доставку та монтаж, на придбання нової технологічної оснастки, на навчання виробничого персоналу. Слід враховувати, що на першому етапі будуть витрати часу на приведення верстата до рівня розрахункової продуктивності.

Спостерігається тенденція до збільшення капіталовкладень у придбання нового обладнання, причому витрати на свердильно-фрезерно-розточувальне обладнання складають близько 37,7% [11] від загального обсягу споживання верстатів у США (табл. 7). Під споживанням обладнання розуміємо сумарну вартість встановленого в країні обладнання – як власного, так і імпортованого. У 2016 р. за прогнозними даними [12]

6,217 млрд. дол. США буде витрачено американськими компаніями на придбання нового металорізного обладнання, що на 15% менше ніж у попередньому році. Зокрема, 2,658 млрд. дол. США, що майже 42,7%, це витрати на придбання свердильно-фрезерно-розточувального обладнання. Зберігається тенденція минулих років щодо капіталовкладень у придбання оброблювальних центрів горизонтального компонування з шириною робочого стола 400–800 мм та оброблювальних центрів вертикального компонування з шириною робочого стола більше 500 мм. Ці витрати перевищують минулорічні показники на 23% і 4% відповідно.

2 Статистичний аналіз свердильно-фрезерно-розточувальних верстатів

Виконано статистичний аналіз технічних характеристик сучасних свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів вертикального та горизонтального компонувань як універсального, так і автоматизованого обладнання. Загалом проаналізовано більше 30 провідних виробників верстатів із Японії, Німеччини, США, Тайваню, Південної Кореї, Італії, Швейцарії та інших країн у обсязі 1075 верстатів, серед яких 817 верстатів вертикального та 258 верстатів горизонтального компонування.

Для виконання статистичного аналізу технічних характеристик металорізального обладнання розглядалися основні параметри, що характеризують технологічні можливості верстатів:

- розміри робочого стола верстата;
- розміри робочого простору верстата;
- максимальна частота обертання шпинделя;
- максимально допустиме рівномірно розподілене навантаження на стіл;
 - потужність верстата;
- точність позиціонування робочих органів верстата;
 - кількість різальних інструментів;
 - тип інструментального магазину;
 - час заміни різального інструменту;
 - кількість керованих осей;
 - система ЧПК.

Розглянемо детальніше кожний параметр.

2.1 Розміри робочого стола верстата

Габаритні розміри робочого стола верстата є однією з найважливіших характеристик, яка визначає граничні розміри деталей та верстатних пристроїв при механічній обробці. Аналіз робочої поверхні проводився за довжиною (рис. 7) та за шириною (рис. 8), попередньо виділивши певні діапазони розмірів. При виборі діапазонів керувалися загальноприйнятими розмірами стола для верстатів різних груп та класифікаціями розмірів деталей.

Більше 51% проаналізованих верстатів вертикального компонування мають ширину робочого стола в межах 250–630 мм та довжину до 1200 мм, та більше 50% верстатів горизонтального компонування – ширину

стола до 800 мм та довжину 800–2000 мм. Таким чином, дані діаграми показують, що виробники направлені на виготовлення верстатів, які забезпечують обробку негабаритних деталей, об'єднуючи при цьому компактність та універсальність, тобто охоплення максимально можливого об'єму оброблюваних деталей.

2.2 Розміри робочого простору верстата

Під цим параметром розуміємо простір верстата від поверхні робочого стола до торця шпинделя (для верстатів вертикального компонування) або до осі шпинделя (для верстатів горизонтального компонування). Для верстатів вертикального виконання даний параметр відіграє важливу роль та вказує на максимальні розміри заготовок, які можуть бути встановлені на верстаті. При цьому слід пам'ятати про розміри різального інструменту, який встановлюється у шпиндель верстата та установлювально-затискні елементи верстатного пристрою, які повинні прагнути до мінімальних значень за висотою.

Необхідно відмітити, що найбільш поширеними є моделі верстатів, де мінімальне значення відповідає 100–200 мм та до 100 мм, а максимальне значення – до 750 мм та до 1000 мм відповідно для верстатів вертикального (рис. 9) та горизонтального компонувань (рис. 10).

2.3 Максимальна частота обертання шпинделя

Відомо, що для важкооброблюваних, в'язких і високоміцних матеріалів потрібні шпиндельні вузли з високими крутними моментами при низьких частотах обертання, а для більш м'яких матеріалів – високошвидкісні. Однак, для багатомономенклатурного виробництва, де впродовж робочої зміни виконується обробка деталей із різних матеріалів, потрібен компроміс між крутним моментом та потужністю привода.

Аналізуючи діаграму, помітно, що приблизно 50% верстатів вертикального компонування мають максимальну частоту обертання шпинделя від 5000 об/хв. до 10000 об/хв. (рис. 11 а).

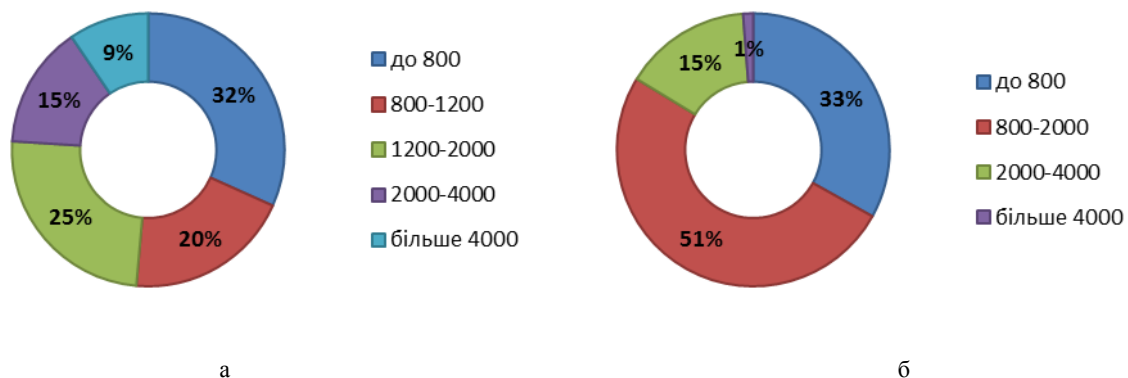


Рис. 7 – Розподіл верстатів за довжиною робочого стола, мм:
а – верстати вертикального компонування; б – верстати горизонтального компонування

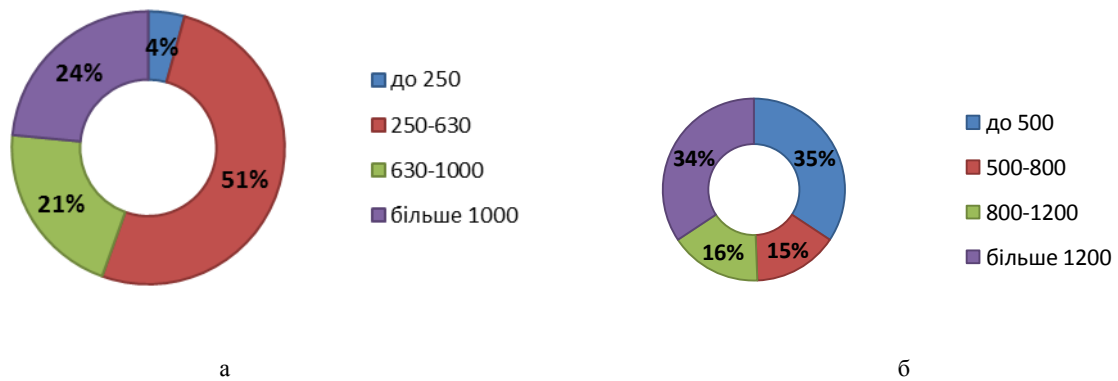


Рис. 8 – Розподіл верстатів за шириною робочого столу, мм:
а – верстати вертикального компоновання; б – верстати горизонтального компоновання

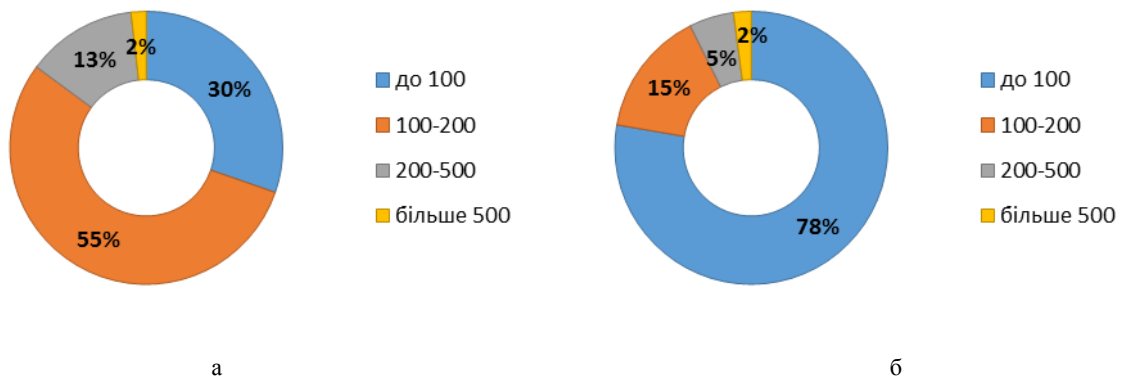


Рис. 9 – Розподіл верстатів за мінімальною відстанню від шпинделя до поверхні робочого столу, мм:
а – верстати вертикального компоновання; б – верстати горизонтального компоновання

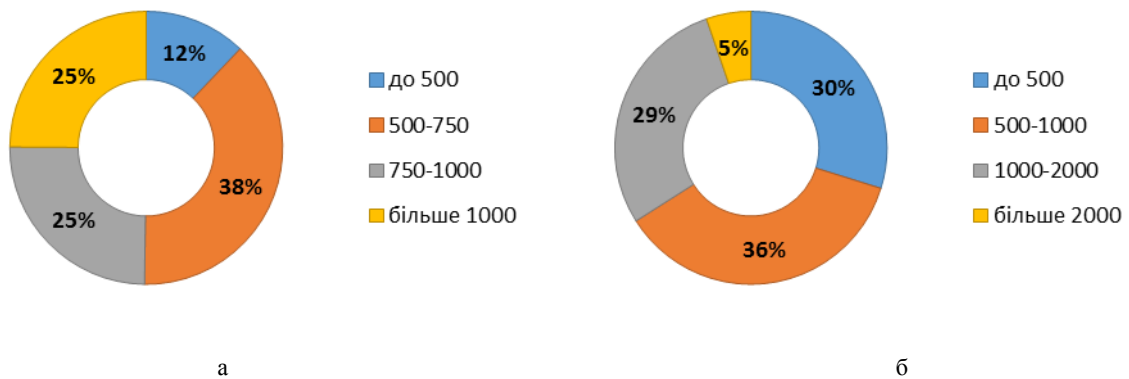


Рис. 10 – Розподіл верстатів за максимальною відстанню від шпинделя до поверхні робочого столу, мм:
а – верстати вертикального компоновання; б – верстати горизонтального компоновання

Розглянутий критерій із точки зору продуктивності характеризує можливість зниження витрат часу при застосуванні оптимальних режимів різання, які підтримуються технічними характеристиками верста. У сучасних методах виготовлення поширення набув метод обробки деталей із використанням різального інструменту для високих подач, при цьому потрібно забезпечувати надвисоку частоту обертання різального інструменту. Тому необхідно відмітити тенденцію підвищення максимально можливих обертів, що наочно відображено на діаграмі: 22% вер-

статів відповідає частоті обертання шпинделя 10000–18000 об/хв. Наявність шпинделів із максимальною частотою обертання шпинделя до 5000 об/хв., яка складає 23% свідчить, що виробники ще не повністю відійшли від використання низькооберткових двигунів і ще існує потреба у їх використанні. Наявність такого обладнання в асортименті верстатобудівників можна пояснити потребою підприємств малого та середнього бізнесу, для яких великі капіталовкладення є досить проблематичними.

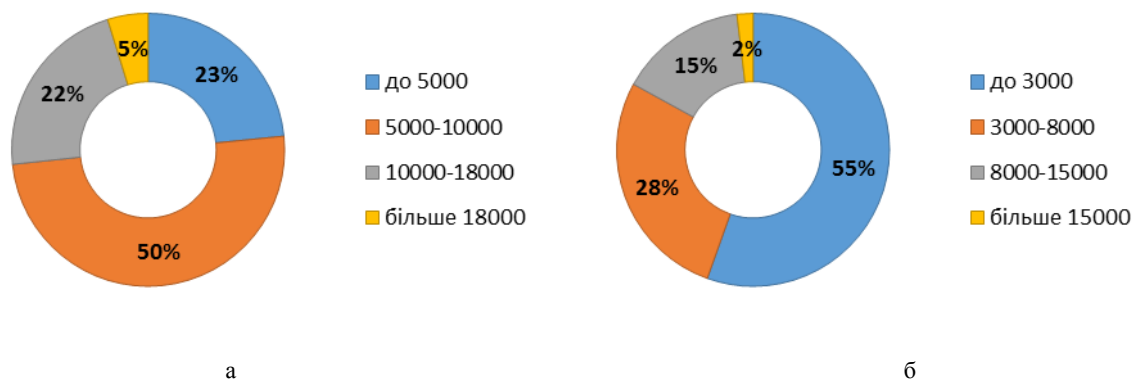


Рис. 11 – Розподіл верстатів за максимальною частотою обертання шпинделя, об/хв.:
а – верстати вертикального компоунвання; б – верстати горизонтального компоунвання

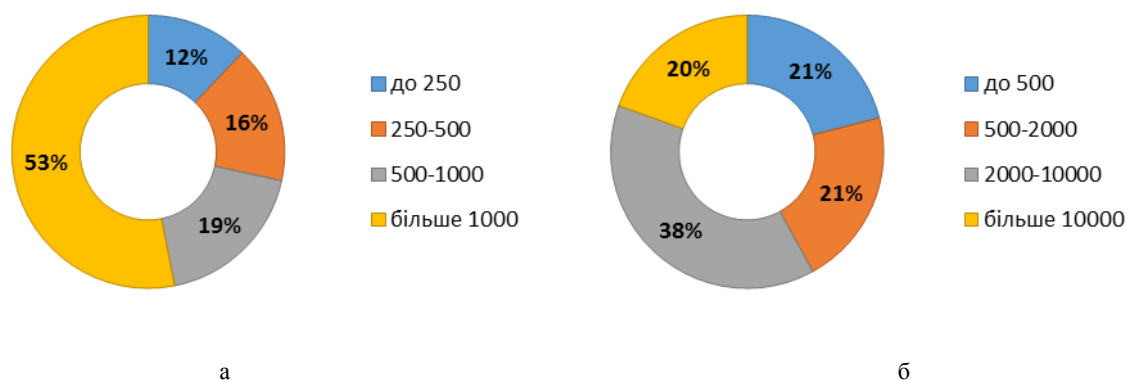


Рис. 12 – Розподіл верстатів за максимально допустимим навантаженням на стіл, кг:
а – верстати вертикального компоунвання; б – верстати горизонтального компоунвання

Для невеликих приватних підприємств превалює не час обробки, а вартість верстата. Збільшення частоти обертання більше 2000 об/хв. призводить до зростання вартості верстата майже на порядок. Верстати горизонтального компоунвання мають дещо інші конструктивні особливості, а тенденція співвідношення їх виготовлення відображена на діаграмі (рис. 11 б): близько 83% верстатів горизонтального компоунвання забезпечують до 8000 об/хв. Така відмінність від верстатів вертикального компоунвання пояснюється специфікою деталей, що оброблюються на них. В основному це великогабаритні корпусні деталі зі значними конструктивними елементами (основні отвори великого діаметру, площини), обробка яких на швидкостях різання, що дозволяють можливості різального інструменту відбувається при меншій частоті обертання. Габаритні заготовки також не можна оброблювати на надвисоких частотах обертання з міркувань безпеки, адже входження в зону резонансу при обробці таких заготовок може призвести до виникнення аварійної ситуації на робочому місці.

2.4 Максимально допустиме рівномірне розподілене навантаження на стіл

Ця характеристика має безпосередній зв'язок із конструкцією верстату, верстатним пристроєм і вагою деталей. Тому аналіз виконувався виходячи з середньостатистичної ваги деталей, результати якого

представлені на рис. 12. Вага верстатного пристрою повинна прямувати до мінімального значення при збереженні достатньої жорсткості, це дозволить при незмінному максимально-допустимому навантаженні встановлювати важчі заготовки, тобто ефективніше використовувати можливості верстата. Чим більше значення, тим більш важкі заготовки можна обробити, більш інтенсивні параметри обробки можна застосувати, а отже, кращі динамічні властивості технологічної системи «верстат – верстатний пристрій – різальний інструмент – заготовка».

2.5 Потужність верстата

Особливістю сучасних багатоцільових верстатів свердильно-фрезерно-розточувальної групи є високошвидкісна обробка з частотою обертання шпинделя в межах 20–40 тис. об/хв. Найвищий рівень частот досягається за допомогою мотор-шпинделів без механізмів коробки швидкостей. Конструкція приводів головного руху сучасних багатоцільових верстатів поряд із високими частотами обертання забезпечує високу вібростійкість, а отже, якість та продуктивність обробки [13]. Сучасні інструменти дозволяють знімати досить великі припуски та працювати в важких умовах, тому і верстати для забезпечення максимальної ефективності використання різального інструменту повинні бути достатньо потужними та мати як високу частоту обертання, так і достатній крутний момент.

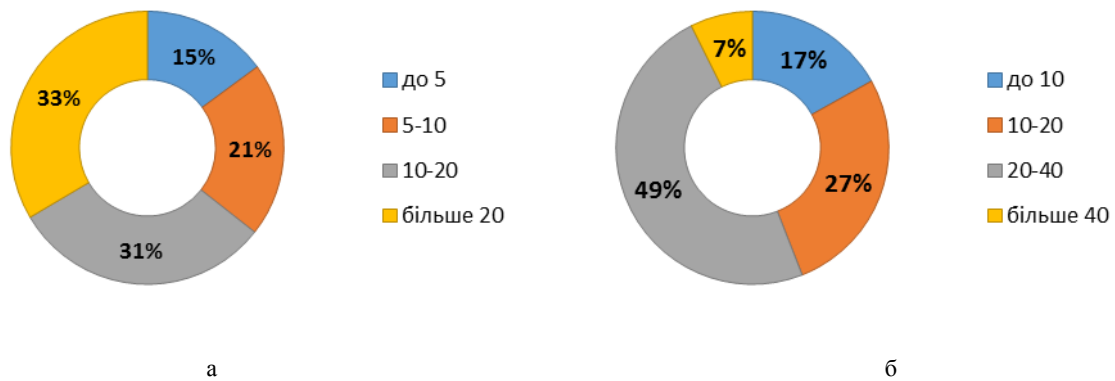


Рис. 13 – Розподіл верстатів за потужністю, кВт:

а – верстати вертикального компоновання; б – верстати горизонтального компоновання

Верстати вертикального виконання з потужністю головного шпинделя до 20 кВт займають 67% всього переліку, причому верстати з потужністю 10–20 кВт досягають 31% (рис. 13 а). 76% верстатів горизонтального компоновання мають потужність у межах 10–40 кВт, що притаманно верстатам даної конструкції, оскільки вони призначенні переважно для важкої обробки деталей (рис. 13 б).

2.6 Точність позиціонування

Цей параметр є узагальненою величиною, яка вказує на точність переміщення робочих елементів верстата, яка залежить від повторюваності положень після переміщень, але включає в себе не лише величину діапазону помилки позиціонування, але й її середнє значення, тобто є більш універсальною характеристикою. Точність позиціонування вказує наскільки велика може бути помилка позиціонування за певною віссю системи координат верстата.

Конструкції деталей постійно ускладнюються, підвищуються вимоги до точності розмірів, форми та взаємного розташування, що безпосередньо впливають на якість деталей та виробу в цілому. Точність розмірів при обробці немірним інструментом і точність взаємного розташування залежать від точності позиціонування, тобто сучасні верстати повинні бути адаптовані для нових підвищених вимог і задовольняти їх у повному обсязі. Точність позиціонування робочих органів верстата залежить від великої кількості факторів, в числі основних – люфти напрямних і передач, неспіввісність напрямних осей і їх неперпендикулярність. Враховуючи суттєві недоліки приводів подачі із використанням кульково-гвинтових пар, у даний час поширення набули лінійні двигуни. Їх прототипом є найпростіша електромагнітна система, що складається з металевого осердя – магніту та статорної обвитки. При подачі струму певної полярності до обвитки осердя зміщується в той чи інший бік. Дані двигуни дозволяють виконувати переміщення робочих органів верстата з точністю до 0,1 мкм. Аналізуючи точність позиціонування, можна відмітити, що діапазон величин варіюється у широкому діапазоні від 0,0001 до 0,1 мм.

2.7 Кількість інструментів

Для комплексної обробки кількох поверхонь деталі необхідно використовувати декілька різних ін-

струментів. Із усього різноманіття корпусних деталей середніх розмірів, які доцільно обробляти на металорізальних верстатах, у середньому приблизно 18% вимагають застосування не більше 10 інструментів, 50% – до 20, 17% – до 30, 10% – 40 і 5% – до 50 інструментів [14]. Для механічної обробки деталей складної форми застосовуються інструментальні магазини з кількістю до 100 інструментів і більше. Виконаний аналіз верстатів за місткістю інструментальних магазинів показав, що 26% верстатів вертикального компоновання та лише 2% верстатів горизонтального компоновання містять до 20 різальних інструментів (рис. 14). Таку невелику поширеність інструментальних магазинів місткістю до 20 інструментів у верстатів горизонтального компоновання можна пояснити тим, що на верстатах даного типу, як правило, обробляються великогабаритні деталі з великою кількістю поверхонь різних типорозмірів, що потребує більшої кількості інструментів. Також габаритні розміри верстатів горизонтального компоновання більші, ніж верстатів вертикального компоновання, що дозволяє розміщувати інструментальні магазини більшої місткості. Результати аналізу свідчать, що 20–40 різальних інструментів є найбільш поширеною практикою для верстатів як вертикального (67%), так і горизонтального (73%) компоновань. Формування переліку різальних інструментів в інструментальному магазині верстата залежить від конструктивно-технологічних особливостей обробки деталей, а також з урахуванням інструментів-дублерів із метою підвищення надійності обробки різанням.

2.8 Тип інструментального магазину

Серед усього переліку відібраного обладнання, найчастіше використовуються наступні магазини: ланцюгового, барабанного, зонтичного та дискового типів.

Дискові магазини служать для накопичення порівняно невеликого числа інструментів, як правило, до 30 шт. Барабанні магазини відрізняються від дискових лише конструкцією та способом розміщення інструментів. Одним із різновидів магазинів барабанного типу є зонтичний магазин, який відрізняється лише вертикальним розташуванням, дозволяючи виконувати заміну інструменту за найкоротшим шляхом.

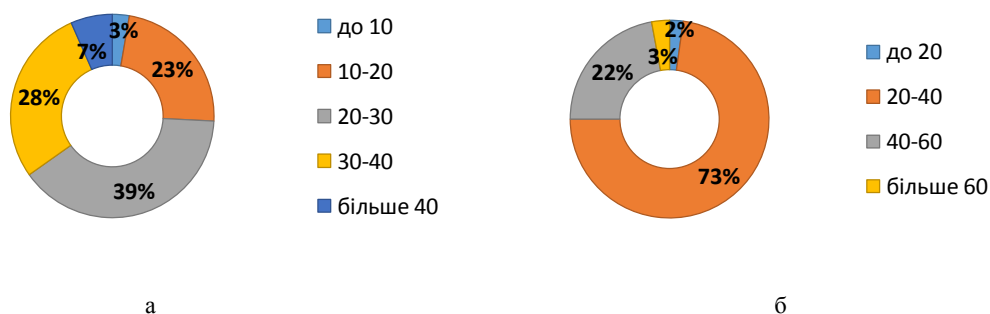


Рис. 14 – Класифікація верстатів за кількістю інструментів, шт.: а – верстати вертикального компоунвання; б – верстати горизонтального компоунвання

Магазини з кількістю різальних інструментів більше 40–60 шт. доцільно виконувати ланцюгового типу.

Незалежно від типу магазину та пристрою, реалізуючого його автоматичну заміну, різальні інструменти встановлюють у шпіндель верстата або в гніздо магазину за допомогою стандартних інструментальних оправок, а налагодження різального інструменту на заданий розмір, як правило, здійснюється поза верстатом.

2.9 Час заміни різального інструменту

Одним із параметрів, який характеризує продуктивність верстата, є час заміни інструменту. Існує два різновиди даної величини: «від стружки до стружки» (час заміни інструменту від обробки до наступної обробки) та «від інструменту до інструменту» (час безпосередньої заміни одного інструменту на інший у шпінделі верстата). Серед аналізованого діапазону верстатів час заміни від інструменту до інструменту коливається в межах 0,3–9,5 с, час заміни від стружки до стружки – від 1,5 до 20 с. Даний час залежить безпосередньо від місткості інструментального магазину та способу автоматичної заміни різального інструменту.

2.10 Кількість керованих осей

Даний параметр дуже важливий із точки зору розгляду характеристик металорізальних верстатів та може коливатися від однієї осі (вертикально-свердильний верстат) до п'яти (оброблювальні центри). З усього різноманіття групи проаналізованих верстатів 613 із них мають до 3-х осей та 204 верстати мають 4-и та 5-ть осей, що становить 75% і 25% відповідно. Такий аналіз хоча і примітивний, але говорить про те, що універсальність, як і раніше, займає перше місце при обробці деталей. Можливо це ре-

зультат високої вартості верстатів із здатністю 5-и осьової обробки поверхонь деталей. Відомо, що вартість 5-и координатних оброблюваних центрів значно вища, а їх окупність буде досягнута лише за умови постійних замовлень на виготовлення деталей. При розрахунках продуктивності багатоцільових верстатів їх ефективність очевидна, що забезпечується економією часу та підвищенням точності обробки через відсутність переустановлень. При цьому реалізується обробка поверхонь, яка не доступна на 3-и координатних верстатах. Ще одним фактором є час програмування, при переведенні якого у фінанси, враховуючи заробітну платню операторів, програмістів, експлуатаційні витрати тощо, можна оцінити економічну ефективність переходу на 5-и координатну обробку деталей.

2.11 Система ЧПК

Сучасні системи ЧПК полегшують підготовку та налагодження керуючих програм, які можуть бути складені та відредаговані безпосередньо на верстаті у режимі діалогу. Системи легко адаптуються до найскладніших багатоцільових верстатів і дозволяють виконувати високопродуктивну обробку. Серед розглянутого переліку аналізованого обладнання найпоширенішими є системи ЧПК: Fanuc (Японія), Siemens (Німеччина), Heidenhain (Німеччина), Haas (США), Mitsubishi Electric (Японія).

2.12 Найбільш поширені параметри верстатів

Опираючись на результати проведеного аналізу, можна кількісно говорити про найбільш затребувані технічні характеристики обладнання для обробки різанням на сьогоднішній день (табл. 8).

Таблиця 8 – Найбільш поширені параметри верстатів

Технічна характеристика	Верстати вертикального компоунвання	Верстати горизонтального компоунвання
Габаритні розміри робочого столу верстата (довжина x ширина), мм	1200x630	2000x800
Розміри робочого простору верстата (відстань від поверхні робочого столу до шпинделя)		
– мінімальна, мм	200	100
– максимальна, мм	750	1000
Максимальна частота обертання шпинделя, об/хв	10000	8000
Максимально допустиме рівномірно розподілене навантаження на стіл, кг	1000	10000
Потужність верстата, кВт	10	20
Кількість інструментів, шт.	30	40
Точність позиціонування робочих органів верстата, мм	0,001	0,001
Кількість керованих осей	4 та 5	4 та 5

Висновки

У сучасному машинобудуванні існує протиріччя між необхідністю скорочення витрат часу на підготовку виробництва та ускладненням конструкції виробів. Сьогодні суспільство потребує більше різновидів продукції, а, отже, обладнання та процеси мають бути більш гнучкими, щоб забезпечити потреби ринку та скоротити час випуску готової продукції. Це обумовлює інженерів розробляти та впроваджувати принципово нові конструкторсько-технологічні рішення з метою інтенсифікації та автоматизації виробництва. Аналіз технологічних можливостей та технічних характеристик металообробного обладнання показав, що тенденцією у верстатобудівній галузі є прагнення до комплексної обробки деталей на оброблювальних центрах із ЧПК, що дозволяє скоротити витрати часу та кількість засобів технологічного оснащення, а також підвищити продуктивність виготовлення деталей у результаті підвищення рівня концентрації технологічних операцій. Ефективне застосування багатоцільових оброблювальних центрів із ЧПК пов'язане з використанням гнучких верстатних пристроїв, які забезпечують необхідні схеми базування заготовок, високий ступінь гнучкості, механізоване або автоматизоване переналагодження установлювально-затискних елементів, високу жорсткість конструкції, інструментальну доступність, можливість спільної роботи з промисловими роботами.

Список літератури

1. Machine Tool Industry Japan 2015 / Japan Machine Tool Builders' Association. – 2015. – 40 p.
2. Machine Tool Industry Japan 2014 / Japan Machine Tool Builders' Association. – 2014. – 15 p.
3. Machinery Industry in Taiwan / Switzerland Global Enterprise. – 2013. – 45 p.
4. 2016 World Machine-Tool Output & Consumption Survey / Gardner Research. – 2016. – 12 p.
5. Production of Taiwan Machine Tools in 2010–2012 by Products [Електронний ресурс] // Taiwan Association of Machinery Industry. – 2013. – Режим доступу: <http://www.tami.org/st/week2.htm>.
6. Wright I. 3 Surprising Facts About Taiwan's Machine Tool Industry [Електронний ресурс] / Ian Wright // ENGINEERING.com. – 2016. – Режим доступу: <http://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/13175/3-Surprising-Facts-About-Taiwans-Machine-Tool-Industry.aspx>.
7. Statistics of Taiwan General Machinery in 2016 (Jan~June) [Електронний ресурс] // Taiwan Association of Machinery Industry. – 2016. – Режим доступу: http://www.tami.org/st/taiwan_ind_201606.pdf.
8. The Machinery & Equipment Industry in Germany. Industry Overview / Germany Trade & Invest. – Issue 2015/2016. – 2015. – 16 p.

9. The German Machine Tool Industry / German Machine Tool Builders' Association. – 2014. – 88 p.
10. VDW Market Report 2014 / German Machine Tool Builders' Association. – 2015. – 88 p.
11. Kline S. U.S. Investment in Machine Tools Poised to Reach Remarkable Level [Електронний ресурс] / Steve Kline // Modern Machine Shop. – 2015. – Режим доступу: <http://www.mmsonline.com/articles/can-you-believe-it>
12. 2016 Capital Spending Survey. Machine Tools Executive Summary / Gardner Research, 2015. – 8 p.
13. Карпуть В. Є. Ефективне використання верстатів з ЧПК у авіаційному агрегатобудуванні / В. Є. Карпуть, В. О. Граніця. — Х. : ДП ХМЗ «ФЕД», 2009. – 228 с.
14. Карпуть В. Е. Современные требования к технологической оснастке станков с ЧПУ / В. Е. Карпуть, В. А. Иванов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2008. – № 22. – С. 23–35.

References (transliterated)

1. Machine Tool Industry Japan 2015 / Japan Machine Tool Builders' Association. – 2015. – 40 p.
2. Machine Tool Industry Japan 2014 / Japan Machine Tool Builders' Association. – 2014. – 15 p.
3. Machinery Industry in Taiwan / Switzerland Global Enterprise. – 2013. – 45 p.
4. 2016 World Machine-Tool Output & Consumption Survey / Gardner Research. – 2016. – 12 p.
5. Production of Taiwan Machine Tools in 2010–2012 by Products // Taiwan Association of Machinery Industry. – 2013. – Available at: <http://www.tami.org/st/week2.htm>.
6. Wright I. 3 Surprising Facts About Taiwan's Machine Tool Industry / Ian Wright // ENGINEERING.com. – 2016. – Available at: <http://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/13175/3-Surprising-Facts-About-Taiwans-Machine-Tool-Industry.aspx>.
7. Statistics of Taiwan General Machinery in 2016 (Jan~June) // Taiwan Association of Machinery Industry. – 2016. – Available at: http://www.tami.org/st/taiwan_ind_201606.pdf.
8. The Machinery & Equipment Industry in Germany. Industry Overview / Germany Trade & Invest. – Issue 2015/2016. – 2015. – 16 p.
9. The German Machine Tool Industry / German Machine Tool Builders' Association. – 2014. – 88 p.
10. VDW Market Report 2014 / German Machine Tool Builders' Association. – 2015. – 88 p.
11. Kline S. U.S. Investment in Machine Tools Poised to Reach Remarkable Level / Steve Kline // Modern Machine Shop. – 2015. – Available at: <http://www.mmsonline.com/articles/can-you-believe-it>
12. 2016 Capital Spending Survey. Machine Tools Executive Summary / Gardner Research, 2015. – 8 p.
13. Karpus V. E., Granycya V. O. Efektivne vikoristannya verstativ z ChPK u aviatsiynomu agregatobuduvanni [Effective application of CNC machine tools in aircraft modular machine constructing]. Kharkiv, FED, 2009. 228 p.
14. Karpus V.E., Ivanov V.A. Sovremennyye trebovaniya k tehnologicheskoy osnastke stankov s ChPU [Modern requirements to tooling for CNC machine tools]. Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2008, no. 22, pp. 23–35.

Поступила (received) 17.11.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Конструкторсько-технологічний аналіз сучасних свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів / В. О. Іванов, В. Є. Карпуть, І. М. Дегтярьов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 33 (1205). – С. 95–105. – Библиогр.: 14 назв. – ISSN 2079-004X.

Конструкторско-технологический анализ современных сверлильно-фрезерно-расточных станков / В. А. Иванов, В. Е. Карпуть, И. М. Дегтярев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 33 (1205). – С. 95–105. – Библиогр.: 14 назв. – ISSN 2079-004X.

Design and manufacturing analysis of modern drilling-milling-boring machine tools / V. O. Ivanov, V. E. Karpus, I. M. Dehtiarov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Techniques in a machine industry. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 33 (1205). – P.95–105. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-004X.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Іванов Віталій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету, м. Суми; тел.: (0542) 33-10-24; e-mail: ivanov@tmvi.sumdu.edu.ua.

Іванов Лев Вадимович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології машиностроєння, станків та інструментів Сумського державного університету, г. Суми; тел.: (0542) 33-10-24; e-mail: ivanov@tmvi.sumdu.edu.ua.

Ivanov Vitalii Oleksandrovych – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor of Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools of Sumy State University, Sumy; tel.: (0542) 33-10-24; e-mail: ivanov@tmvi.sumdu.edu.ua.

Карпуть Владислав Євгенович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України, м. Харків.

Карпуть Владислав Євгеньевич – доктор технічних наук, професор кафедри інженерної механіки, Національної академії Національної гвардії України, г. Харків.

Karpus Vladyslav Evhenovych – Doctor of technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Mechanical Engineering of National Academy of National Guard of Ukraine, Kharkiv.

Дегтярьов Іван Михайлович – аспірант кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів Сумського державного університету, м. Суми.

Дегтярев Иван Михайлович – аспірант кафедри технології машиностроєння, станків та інструментів Сумського державного університету.

Dehtiarov Ivan Myhailovych – PhD student of the Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools of Sumy State University, Sumy.