

DOI <https://doi.org/10.32820/2079-1747-2023-32-5-13>

УДК 621.941.0.15:681.5

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАННЯ ШЛЯХОМ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ЗАМИКАЮЧОЇ ЛАНКИ В УМОВАХ ТЕРМОВПЛИВУ

© Грінченко Г.С.¹, Козлов М.С.¹, Марченко О.О.¹, Захаров С.О.¹,
Герасимов Є.В.¹, Теслов О.А.²

¹*Українська інженерно-педагогічна академія*

²*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"*

Інформація про авторів:

Грінченко Ганна Сергіївна (Hrinchenko Hanna): ORCID: 0000-0002-6498-6142; e-mail: hrinchenko@upra.edu.ua, кандидат технічних наук, доцент, Українська інженерно-педагогічна академія, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Козлов Максим Сергійович (Kozlov Maksym): ORCID: 0000-0001-8954-268X; e-mail: max_kozlov98@ukr.net, Українська інженерно-педагогічна академія, аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Марченко Олександр Олександрович (Marchenko Oleksandr): ORCID: 0000-0002-7469-0089; e-mail: marckerr@gmail.com, Українська інженерно-педагогічна академія, аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Захаров Сергій Олександрович (Zakharov Serhii): ORCID: 0000-0001-8192-9126; e-mail: zaharov.lex@ukr.net, Українська інженерно-педагогічна академія, аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Герасимов Євген Вікторович (Herasymov Yevhen): ORCID: 0000-0003-4026-2796; e-mail: zluger@ukr.net, Українська інженерно-педагогічна академія, аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Теслов Олександр Анатолійович (Teslov Oleksandr): ORCID: 0000-0003-3673-9117; e-mail: trich_@ukr.net, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", аспірант кафедри мехатроніки та електротехніки, вул. Чкалова, 17, Харків, Харківська область, 61000, Україна.

В статті запропоновано методику дослідження з визначення величини замикальної ланки під час розрахунку складальних розмірних ланцюгів з урахуванням впливу температурних зазорів. Представлений аналіз технологічної підготовки виробництва виявив необхідність включення розрахунку розмірних ланцюгів, як одного з елементів розмірного аналізу, що визначається сукупністю розрахунково-аналітичних процедур, які здійснюються під час розроблення та аналізу конструкцій і технологічних процесів. В свою чергу, ефективність розрахунку розмірних ланцюгів з використанням імовірнісного методу значною мірою залежить від того, якою мірою враховано вплив випадкових чинників на значення величин складових ланок і замикаючої ланки. Дослідження підтвердили, що розрахунок номінального значення замикальної ланки не відповідає вимогам, які були поставлені, якщо порівнювати його з результатами, отриманими під час розрахунку без урахування впливу температурних зазорів. Проте, практичне складання ротора живильного насоса типу СВПТ-340-1000 ЛМЗ з урахуванням впливу температурних зазорів може спричинити покращення точності складання в осьовому напрямку на рівень від 5% до 13% і зменшення зазору між торцями колеса ротора і розвантажувального диска на величину від 6% до 10% без необхідності використання додаткового технологічного обладнання.

Ключові слова: якість технології, точність складання, термовплив, розмірний ланцюг, замикаюча ланка.

Hrinchenko H., Kozlov M., Marchenko O., Zakharov S., Herasymov Ye., Teslov O.
“Improving the quality of assembly technology by determining the size of the closing link under thermal stress”

The article proposes a research methodology for determining the size of the closing link in the calculation of assembly dimensional chains, taking into account the influence of temperature gaps. The presented analysis of the technological preparation of production has revealed the need to include the calculation of dimensional chains as one of the elements of dimensional analysis, which is determined by a set of calculation and analytical procedures carried out during the development and analysis of structures and technological processes. In turn, the efficiency of dimensional chains calculation using the probabilistic method largely depends on the extent to which the influence of random factors on the values of the constituent links and the closing link is taken into account. Studies have confirmed that the calculation of the nominal value of the closing link does not meet the requirements set out in the specifications when compared with the results obtained when calculating without taking into account the influence of temperature gaps. However, the practical assembly of the rotor of the SVPT-340-1000 LMZ feed pump, taking into account the influence of temperature gaps, can lead to an improvement in the axial assembly accuracy by 5% to 13% and a reduction in the gap between the ends of the rotor wheel and the discharge disc by 6% to 10% without the need to use additional technological equipment.

Keywords: quality of technology, assembly accuracy, thermal influence, dimensional chain, closing link

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Однією зі складових успішного виходу України на світовий ринок товарів є випуск конкурентоспроможної продукції, особливо в тих галузях, які традиційно забезпечують експорт країни. Машинобудування - ключова наукомістка галузь промисловості країни, оскільки її розвиток є визначальним для забезпечення якості продукції інших галузей національної економіки. Основним завданням сучасного машинобудування є випуск продукції високої якості та конкурентоспроможності. Якість продукції залежить від якості виготовлення окремих деталей і процесу їх складання.

Складання є завершальною стадією виготовлення машин і механізмів, яка багато в чому визначає експлуатаційну надійність і довговічність виробу. Слід зазначити, що основну частину складальних робіт становлять ручні слюсарно-складальні роботи, які потребують інколи великих витрат фізичної праці та високої кваліфікації виконавців. Тому економічні показники підприємства в багатьох випадках залежать від трудомісткості складального виробництва, а проблема підвищення якості та продуктивності складання є однією з найважливіших проблем науково-технічного прогресу сучасного машинобудування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На якість складання може впливати велика кількість чинників, зокрема ті, що не мають прямого відношення до складального процесу [1, 2], наприклад, похибки термічної, механічної та інших видів обробки деталей. Ці похибки прямо чи опосередковано можуть виявитися або в процесі складання, або в зібраному виробі і таким чином погіршити його якість.

У дослідженнях [3,4] такі положення було деталізовано. Так похибки складання почали розглядати за характером їхнього прояву (випадкові та систематичні), за типом посадок, взаєморозташування елементів, деформацій, стану сполучуваних поверхонь тощо.

Технологію складання з'єднання того чи іншого виду (циліндричне, конічне, плоске, різьбове тощо) обирають, зважаючи на характер посадки, з урахуванням її точності, розмірів деталей та їхньої точності, похибки форми й шорсткості поверхонь, конструктивних

елементів (фаски, розточування, проточки), потрібної точності відносного розташування деталей у з'єднанні і т.д. У роботах [5-9] розглянуто основні параметри, якими повинні володіти деталі, що надходять на складання. Найважливішим етапом у проектуванні технології є проектування операції власне складання на основі розрахунку збирання деталей. Обґрунтованість розрахунку залежить від ступеня врахування впливу раніше перерахованих факторів, а також від кінематичних, жорсткісних, силових і динамічних характеристик засобів технологічного оснащення.

У роботах [10, 11] розглядалися питання, пов'язані з розв'язанням проблеми збирання деталей у складальну одиницю за циліндричними посадковими поверхнями. Під час складання з натягом деталі мають бути виготовлені з фасками, оскільки їхня відсутність призводить до незбірності виробу через високу ймовірність упору торцевими поверхнями або збирання з ушкодженням крайок по контуру посадкової поверхні. Наявність фасок має велике значення, особливо під час автоматичного складання. І це є головною вимогою до технологічності деталі з точки зору складання. Детальніше питання складання з'єднань з малими зазорами і з натягом розглянуто в роботах [12, 13]. Незначний перекис осей деталей призводить до їх заклинювання, а невелике збільшення складального зусилля призводить до утворення задирів. Під час складання таких з'єднань, використовуючи різні пристрої корекції, в автоматичному режимі необхідно забезпечити малі ексцентриситет і кут перекоосу осей.

Як уже зазначалося раніше, один із найважливіших показників якості - точність [14-17]. Під час складання основні технічні вимоги - це дотримання точності положення, обертання, лінійного переміщення тощо вузлів і деталей щодо будь-яких базових поверхонь. Точність відносного положення деталей, якщо на охоплюваній деталі немає наполегливого бурта, залежить від точності роботи складального механізму. Найбільшого ефекту під час розв'язання комплексної проблеми точності, продуктивності та економічності виробництва виробів (машини та прилади) загалом досягають тоді, коли цю проблему розв'язують із трьох основних позицій, що характеризують усі етапи виробництва та експлуатації: конструкторсько-експлуатаційних, технологічних і метрологічних.

Метою роботи є підвищення якості технології складання шляхом визначення величини замикаючої ланки складальних розмірних ланцюгів з урахуванням температурних зазорів, що виникають у процесі складання в умовах термовпливу.

Виклад основного матеріалу

Дослідження з визначення величини замикаючої ланки проводилися на зразках і натуральних виробках: вал і колеса ротора живильного насоса типу СВПТ-340-1000 ЛМЗ.

Методика досліджень передбачала:

- 1) вибір матеріалів, конструкції вузлів;
- 2) розрахунок складального розмірного ланцюга багатоелементного з'єднання ймовірнісним способом без урахування впливу температурних розширень матеріалу;
- 3) підготовка зразків і обладнання до експериментів;
- 4) визначення величини замикаючої ланки після складання ротора живильного насоса без урахування впливу температурних розширень матеріалу.

Під час вибору матеріалів зразків виходили з вимоги, що вони мають бути найпоширенішими в промисловості, за конструкцією і розмірами відповідати мінімальним витратам на виготовлення і відповідати поставленим завданням дослідження. Тому прийнятий матеріал - сталь 45. Хімічний склад і механічні властивості наведено в таблиці 1.

Загальний вигляд досліджуваних деталей представлено на рис. 1.

Контрольованим розміром є відстань між торцями втулок під час складання за допомогою нагрівання. Для того, щоб провести дослідження процесу розсіювання розмірів, необхідно провести не менше 80 випробувань.

Таблиця 1 - Хімічний склад і механічні властивості металу зразків

Марка сталі	Хімічний склад, %					Механічні властивості		
	C	Si	Mn	S	P	Тимчасовий опір σ_B , кг/мм ²	Відносне подовження, %	Твердість, НВ
45	0,47	0,28	0,6	0,088	0,028	68	19	167 - 179

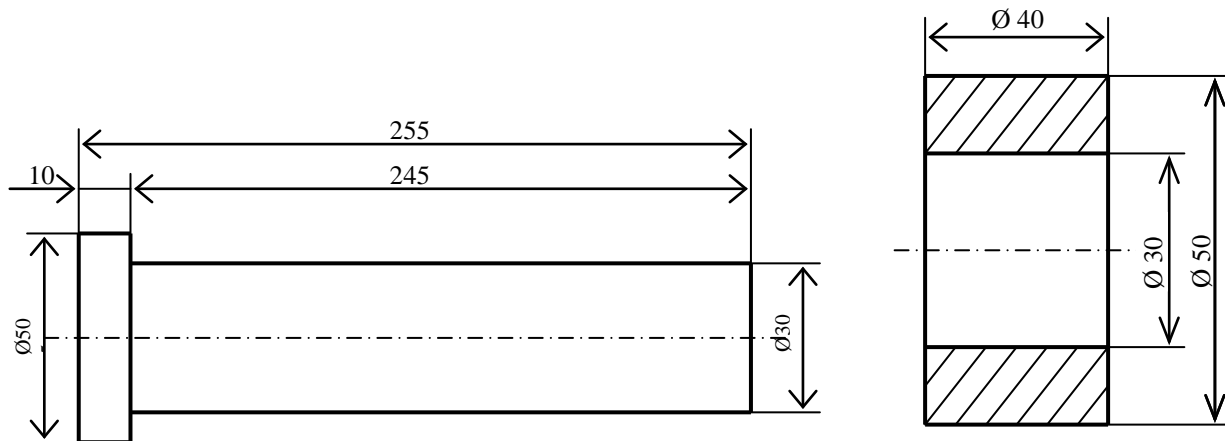


Рис.1 - Загальний вигляд досліджувального зразка

Насоси такого типу належать до числа найбільш відповідальних допоміжних машин теплових електричних станцій. Особливі умови роботи насоса вимагають, щоб усі деталі ротора, поряд із надійним закріпленням їх проти впливу робочого середовища, мали б ще й можливість вільного теплового розширення. Для цього необхідно точно витримувати осьові розміри. Ротор являє собою багатоелементне з'єднання, що складається з вала та послідовно насаджених на нього шість робочих коліс з нержавіючої сталі. Посадка коліс на вал здійснюється з натягом. Загальний вигляд ротора в зборі наведено на рис.2.

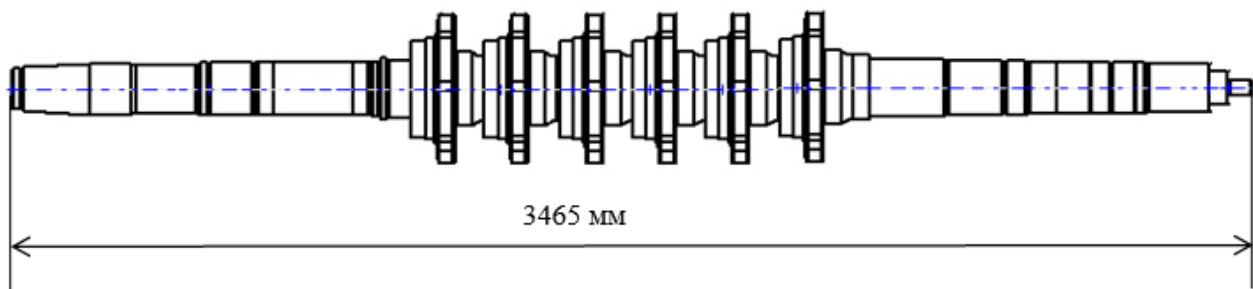


Рис. 2 - Ротор живильного насосу

Усі деталі великогабаритні - внутрішній діаметр колеса ротора становить 164,8 мм; ширина посадкової поверхні колеса ротора - 195 мм; сумарна довжина вала - 3465 мм. Діаметр посадкової поверхні по довжині вала становить - 1272.

Складання ротора здійснюється за допомогою індукційного нагріву, що зумовлено низкою переваг: можливість програмувати параметри нагріву виробу; унеможливлення перегріву лопаток до небезпечних температур, які призводять до знеміцнення матеріалу; одержання поверхні, що сполучається, без подряпин і деформацій; підвищення продуктивності праці. Недоліками такої збірки є витримування розмірної точності за рахунок лінійних розширень матеріалів унаслідок впливу температури.

Розрахунок складального розмірного ланцюга передбачає отримання зазору між торцями колеса і маточини розвантажувального диска певного розміру. Для цього на підставі креслення "Ротор. Складальне креслення ПН 1500-350" було побудовано схему розмірної одиниці (рис.3). Розмір A_1 – складова що становить зменшувальну ланку, дорівнює відстані між торцем першого колеса і торцем ступені вала;

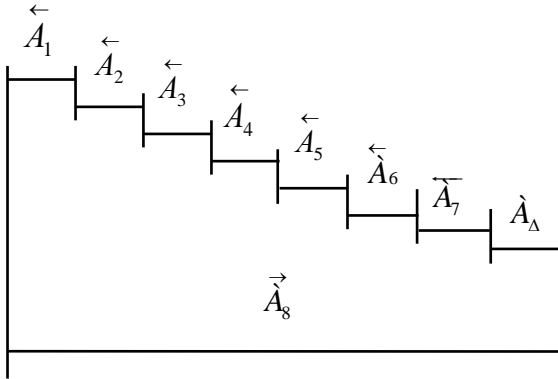


Рис. 3 - Схема розмірного ланцюга складальної одиниці

розміри $A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$ – складові зменшувальні ланки складального розмірного ланцюга, які мають значення довжини посадкової поверхні коліс; A_8 – складова що становить збільшувальну ланку, яка має значення загальної довжини між торцями першого колеса і розвантажувального диска; A_1 – замикальна ланка, яка має значення відстані між торцями останнього колеса ротора і розвантажувального диска.

Оскільки виробництво з виготовлення роторів є дрібносерійним, і кількість ланок розмірного ланцюга перевищує чотири, розв'язання поставленої задачі реалізували

способом імовірнісного підсумовування.

Виконали розв'язання прямої задачі. Зі службового призначення механізму випливає, що мінімальний зазор між торцем останнього колеса ротора та торцем розвантажувального диска має становити 0,4 мм, а максимальний 0,6 мм. Отже, поле допуску на зазор дорівнюватиме:

$$\delta_{\Delta} = \Delta_{B_{\Delta}} - \Delta_{H_{\Delta}} = 0,6 - 0,4 = 0,2 \text{ мм.}$$

Координата середини поля допуску замикаючої ланки:

$$\Delta_{O_{\Delta}} = (\Delta_{B_{\Delta}} + \Delta_{H_{\Delta}}) / 2 = (0,6 + 0,4) / 2 = 0,5 \text{ мм.}$$

Розв'язання прямої задачі зводимо в таблицю 2.

Для складових ланок у графу 1 занесли номер складової ланки; у графу 2 - її характер; у графу 3 - номінальний розмір. У графу 4 внесли значення квадратів одиниць допусків усіх складових ланок, виходячи із заданого номінального розміру кожної ланки.

У графі 5 визначили кількість одиниць допуску за формулою

$$a = \frac{\delta_{\Delta}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} i_i^2}}, \quad (1)$$

де i_i - одиниця допуску i -ої складової ланки.

Квалітет усіх ланок розмірного ланцюга, окрім однієї за вибором (у цьому випадку залишили ланку A_8), визначили за величиною a і записали в графу 6.

Далі значення допусків розмірів складових ланок, крім однієї, визначили за ГОСТ 24643-81, виходячи з величини номінального розміру (графа 3) і квалітету (графа 6), і внесли в графи 7 і 8. Половину поля допуску замикаючої ланки і складових ланок визначили за формулами:

$$\frac{\delta_{\Delta}}{2} = \frac{\Delta_{B_{\Delta}} - \Delta_{H_{\Delta}}}{2}, \quad \frac{\delta_i}{2} = \frac{\Delta_{B_i} - \Delta_{H_i}}{2}.$$

Отримані дані занесли в графу 9, піднесли до квадрата і записали в графу 10. Половину поля допуску складової ланки, що залишилася, визначили за виразом:

$$\frac{\delta_x}{2} = \sqrt{\left(\frac{\delta_\Delta}{2}\right)^2 - \sum_{i=1}^{(m-1)-1} \left(\frac{\delta_i}{2}\right)^2 \xi^2},$$

де ξ - передавальне відношення, яке залежно від виду розмірного ланцюга може мати різний зміст і значення. Так, у цьому випадку для лінійного ланцюга для збільшувальних складових ланок передавальне відношення дорівнює одиниці, для зменшувальних складових ланок передавальне відношення дорівнює мінус одиниця.

Потім визначили координати середин полів допусків усіх складових ланок, крім однієї

$$\Delta_{O_i} = (\Delta_{B_i} + \Delta_{H_i})$$

Отримані значення записали в графу 11, де наприкінці підсумували окремі координати середин полів допусків ланок, що збільшують $\Delta_{o_{\hat{a}}}$ і зменшують $\Delta_{o_{\hat{a}}}$. Координату середини поля допуску складової ланки, що залишилася, визначили за виразом

$$\Delta_{o_x} = \left(\Delta_{o_\Delta} + \sum_{i=1}^{m-1} \Delta_{o_{\hat{a}}} \right) - \sum_{i=1}^{(m-1)-1} \Delta_{o_{\hat{a}}}.$$

Граничні відхилення складової ланки, що залишилася, визначили як

$$\Delta_{B_x} = \Delta_{o_x} + 0,5\delta_x, \quad \Delta_{H_x} = \Delta_{o_x} - 0,5\delta_x$$

і записали в решту графів.

Виконали розв'язання зворотної задачі. Для цього визначили номінальне значення замикальної ланки без урахування лінійного розширення матеріалу і його граничні відхилення.

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^n \xi_{A_i} A_i = -102 + (-195) \cdot 6 + 1272 = -1272 + 1272 = 0.$$

$$\Delta_{O_\Delta} = \left(\sum_1^m \Delta_{B_i} - \sum_1^n \Delta_{H_i} \right) \pm K_i \sqrt{\sum_1^{m+n} \left(\frac{T_i}{2}\right)^2},$$

$$\Delta_{B_\Delta} = (743 - 243) + 100 = 600 \text{ мкм},$$

$$\Delta_{H_\Delta} = (743 - 243) - 100 = 400 \text{ мкм}.$$

Далі для визначення точності складання знайшли коефіцієнт ризику і значення відсотка ризику

$$t = \frac{0,5T_\Delta}{\sqrt{\sum_1^{m+n} \lambda_i^2 \left(\frac{T_i}{2}\right)^2}} = \frac{100}{\sqrt{81 + 864 + 166}} = \frac{100}{33,3} \approx 3.$$

У цьому випадку для $t=3$, відсоток ризику становить 0,27 відсотка. Отже, допуски складових ланок перебувають у межах економічної точності, складання буде виконуватися з повною взаємозамінністю.

Визначимо номінальне значення замикаючої ланки розмірного ланцюга з урахуванням лінійного розширення матеріалу.

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \left(\xi_{A_i} A_i - \left(\beta_{BTi} l_i T_{BTi} + \Delta_{o_i} \right) \right) = -102 + (-192,9) \cdot 6 + 1272 = -1259,4 + 1272 = 12,6 \text{ мм.}$$

Наступним етапом є виконання складання ротора живильного насоса та визначення величини зазору між торцями останнього колеса і розвантажувального диска у виробничих умовах за допомогою додаткових технологічних операцій і без них.

Таблиця 2 - Розрахунок розмірного ланцюга складальної одиниці

№ Ланки	Характеристика ланки	Номінальний розмір, мм	Одиниця допуску в квадраті	Кількість одиниць допуску в квадраті	Квалітет	Граничне відхилення мкм		Половина поля допуску, мкм	Половина поля допуску в квадраті, мкм	Координата середини поля допуску, мкм
						верхнє	нижнє			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-	Замикаюча					600	400	100	10000	500
1	Зменшуюча	102	4,709	26,9	8	54	0	27	729	27
2	Зменшуюча	195	8,410		8	72	0	36	1296	36
3	Зменшуюча	195	8,410		8	72	0	36	1296	36
4	Зменшуюча	195	8,410		8	72	0	36	1296	36
5	Зменшуюча	195	8,410		8	72	0	36	1296	36
6	Зменшуюча	195	8,410		8	72	0	36	1296	36
7	Зменшуюча	195	8,410		8	72	0	36	1296	36
8	Збільшуюча	1272				782	704	38,67	1495	743
	Всього:		55,169							

Висновки

Дослідження з визначення величини замикаючої ланки під час розрахунку складальних розмірних ланцюгів з урахуванням впливу температурних зазорів показали, що результат розрахунку номінального значення замикаючої ланки не відповідає поставленому завданню, порівнюючи з отриманими результатами під час розрахунку без урахування впливу температурних зазорів. Однак практичне виконання складання ротора живильного насоса типу СВІТ-340-1000 ЛМЗ з урахуванням впливу температурних зазорів дає змогу підвищити точність складання в осьовому напрямку на (5-13) % і зменшити величину зазору між торцями колеса ротора і розвантажувального диска на (6-10) % без використання додаткового технологічного обладнання.

Список використаних джерел:

1. Визначення похибки процесів шліфування та швидкісного фрезерування з урахуванням статичної та динамічної невідповідності / В. Кальченко, В. Кальченко, С. Цибуля, Є. Сахно // Технічні науки та технології. 2020. № 3(21). С. 7278. DOI: 10.25140/2411-5363-2020-3(21)-72-78
2. Метрологічне забезпечення точності приладів активного контролю в процесі обробки / В. Ю. Денисюк, В. П. Симонюк, Ю. С. Лапченко, Б. І. Новосад // Перспективні технології та прилади. 2020. №16. С. 38-47. DOI: 10.36910/6775-2313-5352-2020-16-6.
3. Дослідження процесів обробки деталей при ударно-імпульсному навантаженні вібробункера / В. Ю. Денисюк, В. П. Симонюк, Ю. С. Лапченко, О. Л. Кайдик, В. В. Сташенчук // Перспективні технології та прилади. 2021. 18. С. 43-50. DOI: 10.36910/6775-2313-5352-2021-18-6.

4. Кривчик Л. С. Удосконалення технології термічної обробки пресового інструменту для пресування нержавіючих труб / Л. С. Кривчик, Т. С. Хохлова, В. Л. Пінчук // *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2019. № (5-6). С. 47-56. DOI: 10.34185/0543-5749.2019-5-6-47-56.
5. Новіков В. Визначення умов підвищення якості механічної обробки за температурним критерієм / В. Новіков, І. Полянський // *Перспективні технології та прилади*. 2020. № 17. С. 99-106. DOI: 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-15.
6. Розроблення хімічного складу сталі та режиму термічної обробки залізничних коліс для експлуатації в легких умовах гальмування за високих навантажень на вісь / О. Бабаченко, Г. Кононенко, Р. Подольський, О. Сафронова // *Металознавство та термічна обробка металів*. 2022. № 1(96). С. 916. DOI:10.30838/J.PMNTM.2413.240422.9.837.
7. Дослідження структури та властивостей низьколегованої маловуглецевої сталі з ферито-бейнітною структурою після термічного зміцнення та наступного відпуску / Л. М. Дейнеко, А. Ю. Борисенко, А. О. Тараненко, Т. О. Зайцева, Н. С. Романова // *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2020. № 1. С. 33-46. DOI: 10.34185/0543-5749.2020-1-33-46.
8. Винник В. Аналіз методів обробки криволінійних поверхонь кулачків розподільних валів орієнтованим інструментом / В. Винник // *Технічні науки та технології*. 2019. № 4(18). С. 74-84. DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-74-84.
9. Шорнікова, С. Шорсткість поверхні як одна із основних геометричних характеристик якості поверхні деталей. методи та засоби контролю / С. Шорнікова // *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2022. № 5. С. 1320. DOI: 10.32851/tnv-tech.2022.5.2.
10. Технологічні проблеми виготовлення корпусних деталей хімічних машин та апаратів / Є. Пуховський, В. Фролов, В. Приходько, Ю. Бецо // *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів*. 2023. № 4. С. 92103. DOI: 10.32845/msnau.2022.4.13.
11. Зенкін А. Особливості створення верстатів для складання з'єднань з термодією / А. Зенкін, І. Оборський, Ю. Остапук // *Технологія і техніка друкарства*. 2012. С. 5359. DOI: 10.20535/2077-7264.2(36).2012.32449.
12. *Технологія машинобудування* / А. С. Зенкін, В. Д. Каразей, Є. О. Гобатюк, М. П. Мазур. — Львів : *Новий світ* 2000, 2009. — 358 с.
13. Метод віртуального базування деталей з формою, наближеною до форми заготовок / С. І. Планковський, Є. В. Цегельник, В. Б. Минтюк, С. М. Задорожний, В. В. Комбаров // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2020. № 4. С. 7482. DOI: 10.32620/akt.2020.4.09.
14. Григор'єва Н. С. Прогнозування розвитку комп'ютерно-інтегрованого складального виробництва приладобудування / Н. С. Григор'єва, І. В. Марчук, В. А. Шабайкович // *Перспективні технології та прилади*. 2022. Вип. 20. С. 3237. DOI: 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-05.
15. Пасічник В. А. Основи комп'ютерно-інтегрованого механоскладального виробництва : дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08 / В. А. Пасічник ; Нац. техн. ун-т України «КПІ». – Київ, 2009. 412 с.
16. Точність координувати отворів малого діаметру з напрямком різального інструменту / В. М. Бурдейна, Г. С. Грінченко, М. Артюх, А. Р. Триш // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2021. № 2. С. 914. DOI: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2021.02.02>
17. Алгоритм проектування систем автоматичного управління точністю механічної обробки на верстатах з ЧПУ / Г. С. Грінченко, О. Теслов, М. С. Козлов, О. О. Марченко, С. О. Захаров, Є. В. Герасимов // *Машинобудування : зб. наук. пр. / Укр. інж.-пед. акад.* Харків, 2022. Вип. 29. С. 50-61. DOI 10.32820/2079-1747-2022-29-50-61

References:

1. Kalchenko, V, Kalchenko, V, Tsybulia, S & Sakhno Ye (2020), 'Vyznachennia pokhybky protsesiv shlifuvannia ta shvydkisnoho frezeruvannia z urakhuvanniam statychnoi ta dynamichnoi nevrivnovazhenosti' [*Determination of the error of grinding and high-speed milling processes considering static and dynamic unbalance*], *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*. No 3(21), Pp. 72-78, DOI: 10.25140/2411-5363-2020-3(21)-72-78
2. Denysiuk, VI, Symoniuk, VP, Lapchenko, YuS & Novosad, BI (2020), 'Metrolohichne zabezpechennia tochnosti pryladiv aktyvnoho kontroliu v protsesi obrobky' [*Metrological support for the accuracy of active control devices in the machining process*], *Perspektyvni tekhnolohii ta prylady*, no 16, Pp. 38-47, DOI: 10.36910/6775-2313-5352-2020-16-6.
3. Denysiuk, VI, Symoniuk, VP, Lapchenko, YuS, Kaidyk, OL & Stashenchuk, VV (2021), 'Doslidzhennia protsesiv obrobky detalei pry udarno-impulsnomu navantazhenni vibrobunkera' [*Research of part machining processes under impact-impulse loading in a vibrating bunker*], *Perspektyvni tekhnolohii ta prylady*, no 18, Pp. 43-50, DOI: 10.36910/6775-2313-5352-2021-18-6.
4. Kryvchuk, LS, Khokhlova, TS & Pinchuk, VL (2019), 'Udoskonalennia tekhnolohii termichnoi obrobky presovoho instrumentu dlia presuvannia nerzhaviiuchykh trub' [*Improvement of the thermal treatment technology for*

the pressing tool used in stainless steel tube pressing], *Metallurhiina ta hirnychorudna promyslovist*, no 5-6, Pp. 47-56, DOI: 10.34185/0543-5749.2019-5-6-47-56.

5. Novikov, V, Polianskyi, I (2020), 'Vyznachennia umov pidvyshchennia yakosti mekhanichnoi obrobky za temperaturnym kryteriiem' [*Determination of conditions for enhancing the quality of mechanical processing based on temperature criteria*], *Perspektyvni tekhnologii ta prylady*, no 17, Pp. 99-106, DOI: 10.36910/6775-2313-5352-2020-17-15.

6. Babachenko, O, Kononenko, H, Podolskyi, R & Safronova, O, (2022), 'Rozroblennia khimichnoho skladu stali ta rezhymu termichnoi obrobky zaliznychnykh kolis dlia ekspluatatsii v lehkykh umovakh halmuvannia za vysokyykh navantazhen na vis' [*Development of the chemical composition of steel and thermal treatment regime for railway wheels to operate under light braking conditions with high axle loads*], *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv*, no 1, Pp. 9-16, DOI:10.30838/J.PMHTM.2413.240422.9.837.

7. Deineko, LM, Borysenko, AYu, Taranenko, AO, Zaitseva, TO, & Romanova, NS (2020), 'Doslidzhennia struktury ta vlastyvoستي nyzkolehovanoi malovuhletsevoi stali z feryto-beinitnoiu strukturoiu pislia termichnoho zmitsnennia ta nastupnoho vidpusku' [*Study of the structure and properties of low-alloy low-carbon steel with ferrite bainite structure after thermal strengthening and subsequent tempering*], *Metallurhiina ta hirnychorudna promyslovist*, no 1, Pp. 33-46, DOI: 10.34185/0543-5749.2020-1-33-46.

8. Vynnyk, V (2019), 'Analiz metodiv obrobky kryvoliniinykh poverkhon kulachkiv rozpodilnykh valiv oriientovanykh instrumentom' [*Analysis of methods for machining cam surfaces of distribution shafts using oriented tools*], *Tekhnichni nauky ta tekhnologii*, no 4(18), Pp. 74-84, DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-74-84.

9. Shornikova, S (2022), 'Shorstkist poverkhni yak odna iz osnovnykh heometrychnykh kharakterystyk yakosti poverkhni detalei. metody ta zasoby kontroliu' [*Surface roughness as one of the primary geometric characteristics of surface quality in components. Methods and means of control*], *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Tekhnichni nauky*, no 5, Pp. 13-20, DOI: 10.32851/tnv-tech.2022.5.2.

10. Pukhovskiy, Ye, Frolov, V, Prykhodko, V & Betsko, Yu (2023), 'Tekhnologichni problemy vyhotovlennia korpusnykh detalei khimichnykh mashyn ta aparatyv' [*Technological challenges in manufacturing casing components for chemical machinery and apparatus*], *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychykh protsesiv*, iss 4, Pp. 92-103, DOI: 10.32845/msnau.2022.4.13.

11. Zenkin, A, Oborskyi, I & Ostapuk, Yu (2012), 'Osoblyvosti stvorennia verstativ dlia skladannia ziednan z termodiieiu' [*Features of creating machines for assembling connections with thermal effect*], *Tekhnolohiia i tekhnika druzarstva*, iss 53-59, DOI: 10.20535/2077-7264.2(36).2012.32449.

12. Zenkin, AC, Karazei, VD, Hobatiuk, YeO & Mazur, MP (2009), *Tekhnolohiia mashynobuduvannia [Mechanical Engineering Technology]*, Novyi svit_2000, Lviv

13. Plankovskiy, SI, Tsehelnik, YeV, Myntiuk, VB, Zadorozhnyi, SM & Kombarov, VV (2020), 'Metod virtualnoho bazuvannia detalei z formoiu, nablyzhenoiu do formy zahotovok' [*The method of virtual alignment of parts with a shape approximating that of blanks*], *Aviatsiino-kosmichna tekhnika i tekhnolohiia*, no 4, Pp. 74-82, DOI: 10.32620/akt.2020.4.09.

14. Hryhorieva, NS, Marchuk, IV & Shabaikovykh, VA (2022), 'Prohnozuvannia rozvytku kompiuterno-intehrovanoho skladalnoho vyrobnytstva pryladobuduvannia' [*Forecasting the development of computer-integrated assembly production in instrument making*], *Perspektyvni tekhnologii ta prylady*, iss. 20, Pp. 32-37, DOI: 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-05.

15. Pasichnyk, VA (2009), 'Osnovy kompiuterno-intehrovanoho mekhanoskladalnoho vyrobnytstva' [*Fundamentals of computer-integrated mechanical assembly production*], Dokt. tekhn. nauk thesis, Natsionalnyi tekhnichniy universytet Ukrainy "KPI", Kiev

16. Burdeina, VM, Hrinchenko, HS, Artiukh, SM & Trishch, AR (2021), 'Tochnist koordynuvaty otvoriv maloho diametru z napriamkom rizalnoho instrumentu' [*The precision of coordinating small diameter holes with the direction of the cutting tool*], *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Serii: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiah, no 2, Pp. 9-14, DOI <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2021.02.02>

17. Hrinchenko, HS, Teslov, O, Kozlov, MS, Marchenko, OO, Zakharov, SO & Herasymov, YeV (2022), 'Alhorytm proektuvannia system avtomatychnoho upravlinnia tochnistiu mekhanichnoi obrobky na verstatakh z ChPU' [*Algorithm for designing automatic precision control systems for mechanical processing on CNC machines*], *Mashynobuduvannia*, no 29, Pp. 50-61, DOI 10.32820/2079-1747-2022-29-50-61

Стаття надійшла до редакції 15 серпня 2023 року