

С. Д. Досенко

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України Україна, м. Київ, вул. Миколи Василенка, 3,
ORCID ID: 0000-0001-6707-2840

МЕТОД СЕЛЕКТИВНОГО СКЛАДАННЯ У ДРІБНОСЕРІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

У статті досліджується метод селективного складання у дрібносерійному виробництві. Зазначено, що селективне складання – це спосіб досягнення високоточного зазору між двома деталями зборки. У статті запропоновано проілюструвати ідею селективного складання у дрібносерійному виробництві на прикладі втулки та валу у зборі. Сформовано загальні принципи на базі яких реалізується селективний метод. Відокремлено суть методу групової взаємозамінності, яка полягає в тому, що деталі з'єднання, виготовлені в межах технологічно можливого допуску, сортують перед складанням на кілька груп, а потім роблять складання деталей по групах. Наголошено, що селективна збірка застосовується, по-перше, коли потрібно підвищити точність з'єднань без зменшення допусків на обробку деталей, що з'єднуються, і, по-друге, коли потрібно розширити допуски на обробку до економічно доцільних при збереженні заданої точності. Запропоновано двійкову лінійну систему селективного складання у дрібносерійному виробництві, яка є окремим випадком багатомірної задачі, відомої як проблема присвоєння мультиіндексу. Описано суть методу селективного складання, в якому загальна кількість змінних рішень та лінійна система селективного складання може бути вирішена для глобального оптимального рішення, використовуючи алгоритм розгалуження, при цьому нижчі межі отримуються шляхом розв'язування лінійних рівнянь. Сформовано математичну складову та описано вплив механізму перевірки зібраної продукції на вартість кінцевої якості. Обґрунтовано, що метод селективного складання в умовах дрібносерійного виробництва набагато покращує якість збірок, ніж сто відсоткова перевірка результатів випадкової збірки незважаючи на вартість селективного складання.

Ключові слова: селективне складання, виріб, збірка, дрібносерійне виробництво, відхилення, похибка, отвір, розмір.

С.Д. Досенко

МЕТОД СЕЛЕКТИВНОЇ СБОРКИ В МЕЛКОСЕРІЙНОМУ ПРОИЗВОДСТВЕ

В статье исследуется метод селективной сборки в мелкосерийном производстве. Отмечено, что селективное сборки - это способ достижения высокоточного зазора между двумя деталями сборки. В статье предложен проиллюстрировать идею селективной сборки в мелкосерийном производстве на примере втулки и вала в сборе. Сформулированы общие принципы на базе которых реализуется селективный метод. Обособленно суть метода групповой взаимозаменяемости, которая заключается в том, что детали соединяются в пределах технологически возможного допуска, сортируются перед сборкой на несколько групп, а затем производят сборку деталей по группам. Отмечено, что селективная сборка применяется, во-первых, когда нужно повысить точность соединений без уменьшения допусков на обработку деталей соединяются, и, во-вторых, когда нужно расширить допуски на обработку в экономически целесообразных при сохранении заданной точности. Предложено двоичную линейную систему селективной сборки в мелкосерийном производстве, которая является частным случаем многомерной задачи, известной как проблема присвоения мультииндексу. Описаны суть метода селективной сборки, в котором общее количество переменных решений и линейная система селективной сборки может быть решена для глобального оптимального решения, используя алгоритм ветвления, при этом ниже границы получаются путем решения линейных уравнений. Сформирован математическую составляющую и описано влияние механизма проверки собранной продукции на стоимость конечного качества. Обосновано, что метод селективной сборки в условиях мелкосерийного производства намного улучшает качество сборников, чем сто процентная проверка результатов случайной сборки несмотря на стоимость селективной сборки.

Ключевые слова: селективное сборки, изделие, сборка, мелкосерийное производство, отклонения, погрешность, отверстие, размер.

S.D. Dosenko

METHOD OF SELECTIVE ASSEMBLY IN SMALL-SCALE PRODUCTION

The article investigates the method of selective assembly in small-scale production. It is noted that selective assembly is a way to achieve a high-precision gap between two parts of the assembly. The article proposes to illustrate the idea of selective assembly in small-scale production on the example of a sleeve and a shaft assembly. The general principles on the basis of which the selective method is realized are formed. The essence of the group interchangeability method is separated, which consists in the fact that the parts of the connection, made within the technologically possible tolerance, are sorted before assembly into several groups, and then assemble the parts into groups. It is emphasized that selective assembly is used, firstly, when you want to increase the accuracy of the joints without reducing the tolerances for machining the parts to be joined, and secondly, when you want to expand the tolerances for machining to cost-effective while maintaining the specified

accuracy. A binary linear system of selective addition in small-scale production is proposed, which is a special case of a multidimensional problem known as the problem of assigning a multi-index. Describes the essence of the method of selective addition, in which the total number of variable solutions and the linear system of selective addition can be solved for a globally optimal solution using a branching algorithm, with lower limits being obtained by solving linear equations. The mathematical component is formed and the influence of the mechanism of check of the collected production on cost of final quality is described. It is substantiated that the method of selective assembly in the conditions of small-scale production much improves the quality of assemblies than one hundred percent verification of the results of random assembly despite the cost of selective assembly.

Key words: selective assembly, product, assembly, small-scale production, deviation, error, hole, size.

Постановка проблеми. Для організації селективного складання в умовах дрібносерійного виробництва, перш за все, необхідно зменшити або виключити вплив законів розподілу відхилень розмірів отворів і валів на виникнення некомплектних деталей. Для цього повинна бути вирішена задача по збірці з'єднань при різних законах розподілу відхилень розмірів отворів і валів та ймовірності утворення некомплектних деталей.

Селективне складання – це спосіб досягнення високоточного зазору між двома деталями зборки. Щоб проілюструвати ідею селективного складання у дрібносерійному виробництві, розглянемо втулку та вал у зборі. Зазор Y – різниця між внутрішнім діаметром втулки X_1 і зовнішнім діаметром вала X_2 , тобто $Y = X_1 - X_2$. При випадковій збірці втулка та вал вибираються випадковим чином із наявного запасу. Однак, якщо допуск на Y жорсткий, є можливість зіставити втулки з великим внутрішнім діаметром із валами з великим зовнішнім діаметром та втулки з малим внутрішнім діаметром із валами з малими зовнішніми діаметрами. Співвідношення деталей може базуватися на вимірних внутрішніх діаметрах втулок та безпосередньо вимірних зовнішніх діаметрах валів. Це те, що має назву пряме селективне складання. Коли є набір втулок та валів, які слід зібрати, зручно сортувати втулки та вали у відсіки, а потім збирати з відповідних осередків. Збірка виконується селективним вибором втулок та валів із відповідних секторів набору деталей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню методу селективного складання та вивченню його теоретичних основ було присвячено цілий ряд робіт вітчизняних вчених. Селективна збірка виникла як наслідок невідповідності точності обладнання, що встановлено на підприємстві вимогам, які встановлюються теорією взаємозамінюваності, коли перехід на більш точне обладнання при обмежених кордонах виробництва призводить до значного зростання собівартості виробу.

Науковцями С. В. Ковалевский, О. С. Ковалевська., Є. О. Коржов, А. О. Кошевой [1] подано основи інформаційної сутності діагностики технологічних систем і виробів машинобудування, наведено аналіз існуючих методів діагностики технологічних систем і машинобудівної продукції.

Забезпечення якості складання з'єднань паливної апаратури в умовах серійного виробництва шляхом комплектування з ранжуванням розмірів наведено у роботі О. В. Купріянова [2]. Авторами Г. А. Голуб, Н. М. Цивенкова, В. В. Чуба, А. А. Голубенко, М. Б. Терещук [3] запропоновано підхід, в основу якого покладена гіпотеза про можливість знаходження критеріїв (формул), які дозволять апріорно оцінити відповідність структури конструкцій встановленим рівням уніфікації, а також виявити закономірності та зазначити методи оптимізації структури конструкцій шляхом адаптації до технологічного оснащення. Реалізація такого підходу здійснювалася шляхом використання аксіоматичної теорії, законів композиції, теорії груп та символічної логіки.

Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань детально структурували та висвітлили І. І. Антоненко, А. С. Солоха [4].

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Tong-Viet H. P. [5], Gilman R. [6], Cattaneo M. E. [7], Los, L., Kukharets, S., Tsyvenkova, N., Holubenko, A., Tereshchuk, M. [8], Shao, J., Lu, F., Zeng, C., Xu, M. [9], Yarosh, Y., Tsyvenkova, N., Kukharets, S., Holubenko, A., Los, L. [10], Galán-García, J. L., Aguilera-Venegas, G., Rodríguez-Cielos, P., PadillaDomínguez, Y., Galán-García, M. Á. [11], Engström, F., Kontinen, J., Väänänen, J. [12], Trigueiro de Sousa Junior, W., Barra Montevechi, J. A., de Carvalho Miranda, R., Teberga Campos, A. [13] та інші.

У сучасній літературі не розглянуто питання селективного складання в умовах збігу наборів втулок та валів у різних осередках у рамках дрібносерійного виробництва. Основна увага,

науковців присвячена питанню вдосконалення великосерійного виробництва, коли розглядається сценарій масового виробництва при наявності однакової кількості втулок та валів, саме тому питання розгляду методу селективного складання у дрібносерійному виробництві є актуальним та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Дослідити метод селективного складання в умовах дрібносерійного виробництва.

Викладення основного матеріалу дослідження. Метод селективного складання чи інакше, метод групової взаємозамінності полягає: у виготовленні деталей вузлів по технічно здійсненним або економічно доцільним виробничим допускам; у вимірі партії деталей, що входять в з'єднання, при цьому вимірюються дійсні відхилення величин впливу від номінального розміру, або інакше, відхилення характеристик, які безпосередньо впливають на необхідну точність з'єднання; попереднього сортування партії деталей, що входять в з'єднання на розмірні групи в межах фактичних виробничих допусків; безпосередній зборці з'єднань з деталей відповідних груп.

Селективна збірка застосовується, по-перше, коли потрібно підвищити точність з'єднань без зменшення допусків на обробку деталей, що з'єднуються, і, по-друге, коли потрібно розширити допуски на обробку до економічно доцільних при збереженні заданої точності.

Суть методу групової взаємозамінності полягає в тому, що деталі з'єднання, виготовлені в межах технологічно можливого допуску, сортують перед складанням на кілька груп, а потім роблять складання деталей по групах. В результаті такої групової збірки виходять з'єднання з меншим коливанням зазору або натягу, тобто більш точні, і, отже, забезпечується задана довговічність.

Чим більше груп селекції на поточній лінії виробництва, тим точніші потрібні засоби для вимірів щодо контролю сортування деталей на групи. Їх слід вибирати із заданої номенклатури і за спеціальними методиками, які закріплено за допомогою чинного законодавства України. При неправильному виборі засобів вимірювань зростає рівень втрат від неправильно забракованих і прийнятих деталей. Це відбивається на внутрішніх втратах і загальних витратах на якість. Тому метрологічне забезпечення якості збірки – один з критеріїв обмеження отримання заданої точності складання.

Розглянемо складання однієї одиниці кожного з k різних типів компонентів. Припустимо, збірки виготовляються партіями розміром N , які є дрібносерійними тобто від 5 до 100 одиниць у партії. Потім при довільній збірці N компоненти кожного типу подаються на складальну лінію, де їх випадковим чином узгоджують та збирають. При прямій селективній збірці компоненти узгоджуються систематично на основі вимірювань характеристик компонентів. Нехай характеристика якості збірки позначається як Y . Припустимо, що $Y = f(X_1, \dots, X_k)$ де f – відома функція відповіді збірки, а X_i – вектор вимірюваних характеристик компонента i . Нехай характеристики N компонентів позначаються X_{i1}, \dots, X_{iN} . Тоді, якщо збираємо компонент типу i_j для $j = 1, \dots, k$, отримуємо деталь з характеристиками

$$Y_{i_1, i_2, \dots, i_k} = f(X_{1i_1}, \dots, X_{ki_k})$$

і якістью

$$Q_{i_1, i_2, \dots, i_k} = L(Y_{i_1, i_2, \dots, i_k}, T)$$

де L – функція втрати якості, а T – ціль для Y . Одним загальним вибором функції втрати якості L є

$$L(Y_{i_1, i_2, \dots, i_k}, T) = (Y_{i_1, i_2, \dots, i_k} - T)^T C (Y_{i_1, i_2, \dots, i_k} - T)$$

де C – позитивна напіввизначена матриця.

Загалом існує $(N!)^{k-1}$ можливих способів отримати N збірки. Однак ми можемо знайти комбінацію збірок, яка мінімізує витрати на якість, вирішивши двійкову лінійну систему селективного складання у дрібносерійному виробництві:

$$\begin{aligned} \min QC &= \sum_{i_1=1}^N \sum_{i_2=1}^N \dots \sum_{i_k=1}^N Q_{i_1, i_2, \dots, i_k} D_{i_1, i_2, \dots, i_k} \\ \sum_{i_2=1}^N \sum_{i_3=1}^N \dots \sum_{i_k=1}^N D_{i_1, i_2, \dots, i_k} &= 1 \quad \forall i_1 = 1, \dots, N \\ \sum_{i_1=1}^N \sum_{i_3=1}^N \dots \sum_{i_k=1}^N D_{i_1, i_2, \dots, i_k} &= 1 \quad \forall i_2 = 1, \dots, N \end{aligned}$$

$$\sum_{i_1=1}^N \dots \sum_{i_{k-2}=1}^N \sum_{i_{k-1}=1}^N D_{i_1, i_2, \dots, i_k} = 1 \quad \forall i_1 = 1, \dots, N$$

$$D_{i_1, i_2, \dots, i_k} \in \mathbb{Z}, D_{i_1, i_2, \dots, i_k} \geq 0 \quad \forall i_1, i_2, \dots, i_k \in 1, \dots, N$$

D_{i_1, i_2, \dots, i_k} є змінними прийняття рішень. Якщо $D_{i_1, i_2, \dots, i_k} = 1$, тоді один виріб повинен бути

зібраний із компонента типу j для $j = 1, \dots, k$. Цільовою функцією є загальна якість витрат на збірки. Обмеження говорять про те, що кожен компонент кожного типу повинен належати одній збірці. Нехай $D = (D_{11\dots 1}, \dots, D_{kk\dots k})$ позначає вектор змінних рішення. Тоді D є можливим рішенням, якщо точно N елементи D дорівнюють 1, а решта $N^k - N$ елементів дорівнюють 0. Оптимальне рішення D^* для системи селективного складання дає N збірки, що мінімізують суму покладену на досягнення якості.

Двійкова лінійна система селективного складання у дрібносерійному виробництві – це окремий випадок багатовимірної задачі, відомої як проблема присвоєння осі / мультиіндексу. Загальна кількість змінних рішень N^k та лінійна система селективного складання може бути вирішена для глобального оптимального рішення, використовуючи алгоритм розгалуження, в якому нижчі межі отримуються шляхом розв'язування лінійних рівнянь. Зауважимо, що якщо $k = 2$, маємо звичайну задачу присвоєння, яку можна вирішити як лінійну програму, тобто можемо не враховувати обмеження цілісності $D_{i_1, i_2, \dots, i_k} \in \mathbb{Z} \quad \forall i_1, i_2, \dots, i_k \in \{1, \dots, N\}$. На жаль, для $k > 2$ цього зробити не можна.

Для реалізації системи селективного складання у дрібносерійному виробництві слід виміряти всі відповідні характеристики кожного компонента, а виміряні значення для кожного компонента повинні бути позначені на компоненті.

У випадку коли значення Q_{i_1, i_2, \dots, i_k} характеризуються великими показниками, продукція низької якості може бути отримана з певної комбінації компонентів. Таким чином, доцільніше брати подібні збірки, а не виготовляти їх. Нехай c_j^S – вартість збору однієї одиниці деталі типу j .

$$Q_{i_1, i_2, \dots, i_k} > \sum_{j=1}^k c_j^S$$

Тоді, якщо , реалізація готової збірки вигідніше. Таким чином, у системі селективного складання необхідно замінити Q_{i_1, i_2, \dots, i_k} на

$$Q_{i_1, i_2, \dots, i_k} = \min \left\{ L(Y_{i_1, i_2, \dots, i_k}, T), \sum_{j=1}^k c_j^S \right\}$$

. Також є можливість переробки деталі, щоб отримати прийнятну збірку. У цьому випадку $\sum_{j=1}^k c_j^S$ слід замінити на вартість переробки.

Оскільки X_{ij} є випадковими, тобто вони змінюються в залежності від партії Y_{i_1, i_2, \dots, i_k} та Q_{i_1, i_2, \dots, i_k} також є випадковими величинами. Отже, оптимальним рішенням і значенням цільової функції системи селективного складання у дрібносерійному виробництві є випадкові величини. Оскільки оптимальне цільове значення системи змінюється від партії до партії, необхідно оцінювати економічну ефективність методу селективного складання за очікуваною вартістю партії. Передбачається, що $X_{11}, \dots, X_{1N}, X_{21}, \dots, X_{kN}$ розподіляються незалежно і що для кожного i, X_{i1}, \dots, X_{iN} є спільний розподіл F_{X_i} .

Для селективного складання без огляду збірок очікувана сума витрат на якість за партію становить

$$QC_{RAO} = NE(LQ, T)$$

де $Y = f(X_1, \dots, X_k)$ та $X_i \sim F_{X_i}$. Якщо проводиться 100% перевірка зібраної продукції, то очікувана вартість якості становить

$$QC_{RA} = NE \left[\min \left\{ LQ, T, \sum_{j=1}^k c_j^S \right\} \right]$$

припускаючи, що продукція, яка має більші втрати на якість, ніж вартість брухту, бракується.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У роботі досліджено метод селективного складання в умовах дрібносерійного виробництва. Метод селективного складання в умовах дрібносерійного виробництва набагато краще покращує якість збірок, ніж 100% перевірка результатів випадкової збірки. Хоча селективне складання може коштувати дорожче, ніж 100% перевірка, вартість 100% перевірки також може бути дуже високою. Окрім вартості перевірки кожної партії, також є додаткові витрати зусиль завдяки складанню продуктів, які в кінцевому підсумку ідуть на металобрухт. У випадках, коли якісні характеристики збірки можна виміряти лише за допомогою деструктивного контролю, 100% перевірка може не проводитися, на відміну від цього, пряма селективна збірка буде ефективною. Невідповідні комбінації компонентів вибраковуються ще до їх складання, якщо це оптимально. Звичайно, ці переваги можуть бути реалізовані лише в тому випадку, якщо Y можна передбачити точно на основі f . Однак це можливо для механічних збірок, для яких f впливає із суто геометричних міркувань.

Список літератури:

1. Діагностика технологічних систем і виробів машинобудування (з використанням нейромережевого підходу): монографія / С. В. Ковалевський, О. С. Ковалевська., Є. О. Коржов, А. О. Кошевой. Краматорськ : ДДМА, 2016. 183 с.
2. Купріянов О. В. Забезпечення якості складання з'єднань паливної апаратури в умовах серійного виробництва шляхом комплектування з ранжуванням розмірів. Машинобудування, 2017, №19. С. 139-148.
3. Голуб Г. А., Цивенкова Н. М., Чуба В. В., Голубенко А. А., Терещук М. Б. Обґрунтування методу комплексної групової уніфікації конструкцій машин і приладів. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.183844>.
4. Антоненко І. І. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань : навчальний посібник / І. І. Антоненко, А. С. Солоха. Кривий Ріг : КДПУ, 2016. – 40 с.
5. Tong-Viet, H. P. (2019). Orders of real elements in finite groups. Journal of Algebra. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jalgebra.2019.03.025>
6. Gilman R. Algorithmic search in group theory. Journal of Algebra. 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jalgebra.2019.08.021>

7. Cattaneo M. E. G. V. The likelihood interpretation as the foundation of fuzzy set theory. *International Journal of Approximate Reasoning*. 2017. Vol. 90. P. 333–340. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2017.08.006>
8. Los, L., Kukharets, S., Tsyvenkova, N., Holubenko, A., Tereshchuk, M. Substantiation of the structure theory of design of technological machines and devices. *Technology Audit and Production Reserves*. 2017. Vol. 5 (1 (37)), P. 48–55. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.113003>
9. Shao J., Lu F., Zeng C., Xu M. Research Progress Analysis of Reliability Design Method Based on Axiomatic Design Theory. *Procedia CIRP*. 2016. Vol. 53. P. 107–112. doi: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.027>
10. Yarosh Y., Tsyvenkova N., Kukharets S., Holubenko A., Los L. Substantiation of quantitative criteria of structural parts and units manufacturability evaluation. *Technology Audit and Production Reserves*. 2017. Vol. 2 (1 (40)). P. 4–11. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.129676>
11. Galán-García J. L., Aguilera-Venegas G., Rodríguez-Cielos P., Padilla Domínguez Y., Galán-García M. Á. SFOPDES: A Stepwise First Order Partial Differential Equations Solver with a Computer Algebra System. *Computers & Mathematics with Applications*. 2019. Vol. 78 (9). P. 3152–3164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2019.05.010>
12. Engström F., Kontinen J., Väänänen J. Dependence logic with generalized quantifiers: Axiomatizations. *Journal of Computer and System Sciences*. 2017. Vol. 88. P. 90–102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcss.2017.03.010>
13. Trigueiro de Sousa Junior W., Barra Montevechi, J. A., de Carvalho Miranda, R., Teberga Campos, A. Discrete simulation-based optimization methods for industrial engineering problems: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*. 2019. Vol. 128. P. 526–540. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.12.073>