

**І. В. Севостьянов, д. т. н., доц.**

## **РАЦІОНАЛЬНА ПОСЛІДОВНІСТЬ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ**

*У статті запропоновано раціональну методику проектування технологічних процесів складання, що дозволяє з мінімальними витратами часу проаналізувати велику кількість варіантів технологічних складальних процесів і вибрати серед них оптимальний.*

**Ключові слова:** складання, виріб, трудомісткість, собівартість, автоматизоване виробництво, комп'ютерний синтез та аналіз.

### **Вступ**

На сьогодні технологічні процеси складання, серед яких і автоматизовані, досить поширені як у масовому, так і в серійному виробництві [1, 2, 3]. Раціоналізації цих процесів задля зменшення кількості виконуваних операцій, зниження вартості використовуваного обладнання й оснащення, а також собівартості операцій та розряду робіт, збільшення продуктивності та надійності обладнання приділяють багато уваги. При цьому через наявність великої кількості різних технологій та обладнання для автоматизованого складання, а також унаслідок необхідності врахування великої кількості вихідних параметрів вибір найбільш прийнятної в кожній конкретній ситуації варіанту реалізації складального процесу є досить трудомістким [1, 2, 3, 4, 5]. З урахуванням вищевикладеного, автор пропонує раціональну послідовність проектування варіантів складальних процесів.

**Мета** роботи – розробка методики, що дозволить автоматизувати проектування технологічних процесів складання сучасних складних виробів з обґрунтованим вибором з великої кількості допустимих варіантів за кількома основними критеріями оптимального варіанту складального процесу.

### **Основна частина**

На першому етапі проектування технології складання необхідно максимально підвищити технологічність виробу, який складатимуть [2, 3]. Із цією метою перевіряють можливість максимально широкого використання в його конструкції циліндричних, конічних та сферичних з'єднань із зазором і натягом, утворених без температурного впливу, вальцьованих, зварених (переважно холодним і точковим зварюванням), паяних (особливо з попереднім лудінням), клепаних (із заклепками, що самі пробивають отвори), гвинтових і шпилькових з'єднань, а також з'єднань із розрізними пружинними кільцями як більш технологічних, особливо за необхідності реалізації автоматизованого складання [1].

Перевіряють і забезпечують вільний доступ до кріпильних деталей виробу для максимально широкого використання в процесі складання автоматизованих гайковертів і шурупвертів. Із цією ж метою кріпильні деталі об'єднують у комплекти (наприклад, гвинт або болт у комплект із шайбою та з пружинним кільцем [1]).

Переконуються в наявності на валах та осях виробу осьових обмежників (буртів, фланців) для забезпечення можливості автоматизованої точної посадки на них деталей, що сполучаються (зубчастих коліс, напівмуфт, зірочок). Також необхідно, щоб деталі, які запресовують або загвинчують, для запобігання їхнього радіального зсуву під час складання мали напрямні елементи. Для кріплення кришок і фланців замість болтів й гвинтів по можливості використовують розрізні пружинні кільця як більш технологічні під час автоматичного встановлення [1].

Деталям зварних з'єднань також необхідні елементи їхньої попередньої орієнтації (бурти,

обмежники, що відповідають формі посадочних поверхонь) для точного встановлення цих деталей у заданих положеннях перед зварюванням. Доцільно також максимально збільшити відстані між ділянками деталей виробу, який зварюють, та їхніми точними елементами (посадочними поверхнями, різьбами) для зменшення температурних деформацій останніх у процесі зварювання [1].

Для спрощення конструкції автоматизованого складального обладнання забезпечують симетрію кріпильних деталей (рис. 1) [1], що дозволяє відмовитись від механізмів їх попередньої орієнтації. Намагаються максимально зменшити кількість деталей у виробі, спростити їхню конфігурацію, забезпечити базові поверхні корпусних деталей для реалізації стандартних і точних схем їх базування в процесі складання.

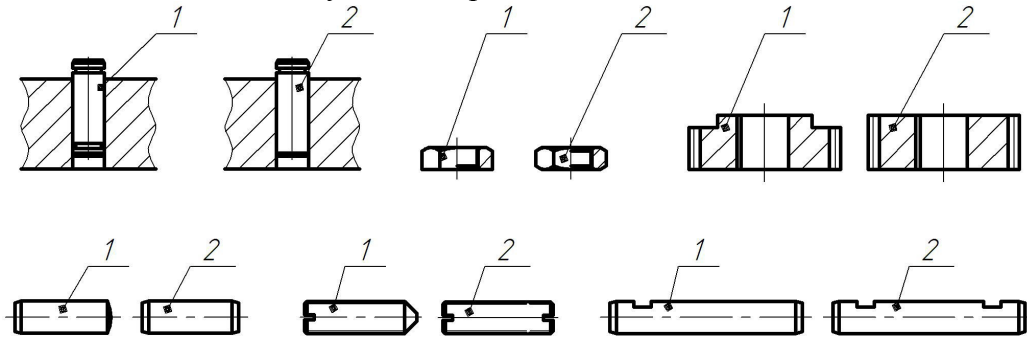


Рис. 1. Приклади підвищення технологічності деталей за рахунок забезпечення симетрії по зовнішньому контуру: 1 – нетехнологічна конструкція; 2 – технологічна конструкція

У конструкції виробу слід використовувати насамперед уніфіковані, стандартизовані та нормалізовані деталі. При цьому доцільно порівняти коефіцієнти уніфікації –  $K_{у.н}$ , нормалізації –  $K_{н.н}$  та стандартизації –  $K_{с.н}$  виробу, який складають, [6] із відповідними коефіцієнтами  $K_{у.б}$ ,  $K_{н.б}$ ,  $K_{с.б}$  виробів аналогічного призначення, що вже випускають і конструкції яких на сьогодні вважають найраціональнішими:

$$K_{у.н} = \frac{n_y}{N} \leq K_{у.б}; K_{н.н} = \frac{n_n}{N} \leq K_{н.б}; K_{с.н} = \frac{n_c}{N} \leq K_{с.б}, \quad (1)$$

де  $n_y$ ,  $n_n$ ,  $n_c$  – кількість уніфікованих, нормалізованих та стандартних деталей виробу, який складають;  $N$  – загальна кількість у ньому деталей.

Розробляють комплект конструкторської документації виробу, який складають, (складальні та робочі креслення, специфікації, опис конструкції виробу й послідовності його складання). Перевіряють наявність на складальних кресленнях необхідних проєкцій та розрізів, параметрів точності з'єднань, точності взаємного розташування деталей, даних про потрібні зусилля запресовування деталей, моменти затягування кріпильних болтів та гайок, герметичність з'єднань, масу виробу та його складників частин, точність балансування обертових деталей. Крім того, збирають інформацію про необхідну кількість виробів, які складають, задану продуктивність складання, припустиму вартість використовуваного обладнання, терміни його освоєння [3]. Зібрану інформацію детально аналізують.

Далі доцільно визначити організаційну форму складання, яка може бути стаціонарною або конвеєрною [3]. Під час стаціонарного складання базову деталь виробу або його вузла розташовують нерухомо в складальному цеху й до неї з різних сторін подають інші вузли або деталі, які приєднують. У випадку конвеєрного складання базову деталь періодично або безперервно переміщують по складальному цеху (цехам), при цьому до неї також приєднують інші вузли й деталі. Організаційну форму вибирають для кожного складання кожного вузла виробу й загалом для процесу складання всього виробу (у деяких випадках організаційні форми вузлового та загального складання одного й того ж самого виробу можуть відрізнатись).

Розробляють технологічну схему складання (рис. 2), що містить інформацію про найменування та послідовність виконуваних основних і допоміжних операцій із зазначенням деталей виробу, які приєднують на кожній складальній операції.

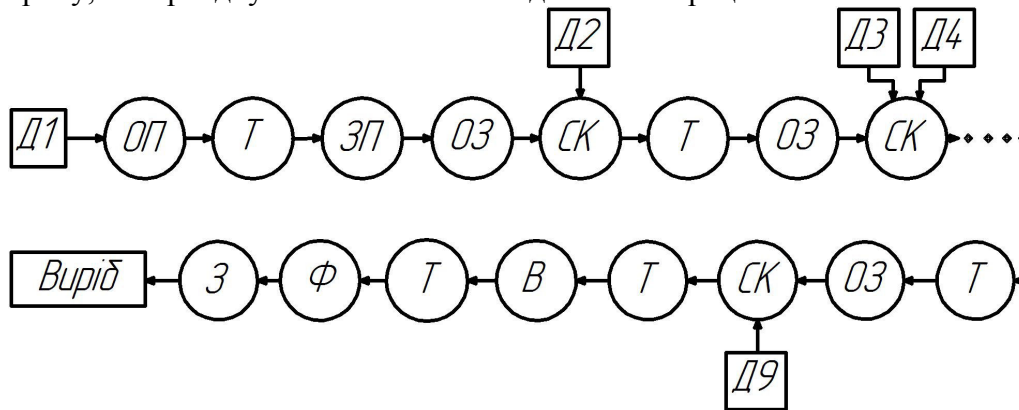


Рис. 2. Приклад технологічної схеми складання: Д1, Д2, Д3, ..., Д9 – деталі виробу; ОП – очищення та промивання; Т – транспортування; ЗП – завантаження в магазинний пристрій та подача; ОЗ – орієнтування та закріплення в робочій позиції складання; СК – складання та контроль його якості; В – випробовування виробу; Ф – фарбування; З – змащення – найменування операцій складання

Відповідно до [6], тип виробництва (також і під час реалізації технологічних процесів складання) можна визначити за коефіцієнтом  $k_{з.о}$  закріплення операцій, що дорівнює відношенню числа  $n_{о.м}$  технологічних складальних операцій, які підлягають виконанню упродовж місяця до числа робочих місць  $n_{м.р}$ . При цьому  $n_{о.м}$  розраховуємо за формулою

$$n_{о.м} = n_{о.м1} \frac{n \cdot n_{р.д.м}}{T_{\delta}}, \tag{2}$$

де  $n_{о.м1}$  – число технологічних операцій під час складання одного виробу (визначають за допомогою технологічної схеми складання, див. рис. 2);  $n$  – необхідна кількість виробів, які складають;  $T_{\delta}$  – допустимий час на складання  $n$  виробів (у робочих днях);  $n_{р.д.м}$  – середнє число робочих днів у місяці (можна прийняти таким, що дорівнює 20,83).

Тоді

$$k_{з.о} = \frac{n_{о.м}}{n_{м.р}} = n_{о.м1} \frac{n \cdot n_{р.д.м}}{T_{\delta} n_{м.р}}. \tag{3}$$

За  $k_{з.о} < 1$  виробництво належить до масового, за  $1 \leq k_{з.о} \leq 10$  – до крупносерійного, за  $10 < k_{з.о} \leq 20$  – до середньосерійного, за  $20 < k_{з.о} \leq 40$  – до дрібносерійного, за  $k_{з.о} > 40$  – до одиничного [6].

Визначають ступінь автоматизації кожної операції технологічного процесу складання, що розробляють (операцію виконують вручну, операція напівавтоматична або автоматична), паралельно вибирають обладнання й оснащення для її реалізації. Основними критеріями для такого вибору є собівартість  $C$  операції за її виконання вручну –  $C_p$ , із використанням напівавтоматичного ( $C_n$ ) або автоматичного ( $C_a$ ) обладнання, а також відповідна трудомісткість (штучний час) виконання операції за того чи іншого ступеня автоматизації –  $T_{шт.р}$ ,  $T_{шт.н}$ ,  $T_{шт.а}$ .

Трудомісткість  $T_{шт.р}$ ,  $T_{шт.н}$ ,  $T_{шт.а}$  [хв] для умов крупносерійного й масового виробництва визначаємо за формулою [2]

$$T_{шт.р} = (T_o + T_{дон}) \left( 1 + \frac{\alpha + \beta}{100} \right) + \frac{T_{н.н}}{n}; \quad T_{шт.н} = T_o + T_{дон} + \frac{T_{н.н}}{n}; \quad T_{шт.а} = T_o + T_{дон} + \frac{T_{н.н}}{n}, \tag{4}$$

де  $T_o$ ,  $T_{дон}$ ,  $T_{н.н}$  – відповідно основний, допоміжний, що не перекривається, та підготовчо-

прикінцевий час, який під час виконання операції вручну визначають за нормативами залежно від її найменування (під час використання напівавтоматичного або автоматичного обладнання  $T_o$ ,  $T_{don}$  розраховують, виходячи з продуктивності та режиму роботи останнього);  $\alpha$ ,  $\beta$  – втрати часу на організаційно-технічне обслуговування та нормовані перерви, які залежно від серійності виробництва складають:  $\alpha = 0,6 - 8\%$  і  $\beta = 2 - 4\%$  [2].

Для одиничного та серійного виробництва  $T_{um.p}$  визначаємо як [2]

$$T_{um.p} = T_o + T_{don} + \frac{T_{n.n}}{n}, \quad (5)$$

тоді як для розрахунку  $T_{um.n}$ ,  $T_{um.a}$  на зазначених виробництвах доцільно використовувати формули (4).

Далі для кожного запропонованого варіанта технологічного процесу складання виробу під час ручного, напівавтоматичного або автоматичного виконання тієї чи іншої операції слід перевірити виконання умови

$$\left( \sum_{i=1}^m T_{um.i} - \sum_{i=1}^k T_{um.i} \right) n \leq T_o \cdot 8 \cdot 60 \cdot n_{zm}, \quad (6)$$

де  $i$  – порядковий номер операції розглядуваного варіанту процесу складання;  $m$  – загальна кількість операцій розглядуваного варіанту;  $k$  – число операцій розглядуваного процесу, що можна виконувати паралельно (сполучати в часі) й  $T_{um}$  яких не перевищує  $T_{um}$  паралельно виконуваної лімітувальної операції;  $n_{zm}$  – число робочих змін на підприємстві тривалістю 8 год.

Використовуючи комп'ютерну техніку та відповідні типові програмні продукти (наприклад, Microsoft Excel), можна перевірити виконання умови (6) для всіх можливих варіантів технологічного процесу складання цього виробу під час ручного, напівавтоматичного або автоматичного виконання кожної операції та відібрати всі допустимі варіанти.

Для кожного допустимого варіанту з урахуванням [3] визначають собівартість

$$C = \sum_{i=1}^m [T_{um.i} (Z_{o.i} + B_{m.i})] + \sum_{i=1}^m \frac{T_{n.n.i}}{n} Z_{n.i} + [100(k_a + k_e)B_o] / n, \quad (7)$$

де  $Z_{o.i}$ ,  $Z_{n.i}$  – хвилинна зарплата основного робітника та наладчика під час виконання  $i$ -ої операції розглядуваного варіанту;  $B_{m.i}$  – вартість 1 хвилини роботи складального обладнання, використовуваного на  $i$ -й операції розглядуваного варіанту, приблизно визначена за заводськими нормативами або за формулою, наведеною у [3];  $k_a$ ,  $k_e$  – коефіцієнти амортизації та експлуатації складального оснащення ( $k_a = 0,2 - 0,5$ ;  $k_e = 0,2$  [3]);  $B_o$  – вартість усього складального обладнання й оснащення, використовуваних під час реалізації розглядуваного варіанту.

Для кожного допустимого варіанту технологічного процесу складання цього виробу перевіряють ще одну умову

$$B_o \leq B_{o,d}, \quad (8)$$

у якій  $B_{o,d}$  – допустима вартість використовуваного в розглядуваному варіанті обладнання. За результатами виконання умови (8), перелік допустимих варіантів технологічного процесу складання переглядають. Із переліку допустимих варіантів, що залишився, вибирають оптимальний, для якого  $C$  є найнижчою.

Далі розробляють маршрутну технологію оптимального варіанту складального процесу з розгляданням доцільності концентрації або диференціації операцій та уточненням найменування й типу використовуваних у ньому обладнання й оснащення. Під час побудови маршрутної технології виділяють операції з високою ймовірністю відмов, на яких слід

передбачити виробничі заділи [3].

Здійснюють вибір технологічних баз і схем базування. Необхідно максимально широко використовувати принципи суміщення та сталості баз [3], типові схеми базування й універсальне стандартне оснащення для їхньої реалізації. Із цією метою можливе навіть корегування конфігурації й розмірів деяких деталей виробу, а також зміна елементного складу останнього.

Останнім етапом проектування процесів складання є розробка їх операційної технології, у якій ще раз уточнюють зміст операцій та доцільність їхньої концентрації [3]. На цьому ж етапі визначають зусилля запресовування деталей виробу, моменти та зусилля затягування кріпильних елементів. Розраховують параметри робочих режимів обраного напівавтоматичного й автоматичного складального обладнання, розробляють конструкторську документацію для виготовлення спеціалізованого та спеціального оснащення для використання у спроектованому технологічному процесі.

### Висновки

1. На початкових етапах проектування технологічних процесів складання доцільно відпрацювати конструкцію виробу на технологічність, а також максимально підвищити ступені стандартизації, нормалізації та уніфікації його деталей.

2. У статті наведено методику розрахунку параметрів технологічних процесів складання, до якої входять відомі залежності, а також формули запропоновані автором, зокрема, для визначення кількості складальних операцій, коефіцієнта їх закріплення, собівартості складання (простіші, ніж відповідні відомі залежності).

3. Основними критеріями для вибору найбільш раціональної технології розглянутих процесів є трудомісткість та собівартість складання виробу під час реалізації кожного варіанту, а також вартість використовуваного при цьому складального обладнання й оснащення. Зважаючи на вищезгадане, у статті запропоновано умови для перевірки на раціональність за цими критеріями спроектованих варіантів процесів.

4. Із використанням наведеної у статті методики може бути розроблена комп'ютерна програма для автоматизованого багатоваріантного синтезу та аналізу високоефективних технологічних процесів автоматизованого складання.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Замятин В. К. Технология и оснащение сборочного производства машиноприборостроения: Справочник / В. К. Замятин. – М. : Машиностроение, 1995. – 608 с.
2. Михайлов А. В. Основы проектирования технологических процессов машиностроительных производств / А. В. Михайлов, Д. А. Расторгуев, А. Г. Схиртладзе. – Старый Оскол : ТНТ, 2010. – 336 с.
3. Капустин Н. М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Н. М. Капустин, П. М. Кузнецов, А. Г. Схиртладзе. – М. : Высш. шк., 2004. – 415 с.
4. Ха Ван Чьен. Формирование схемы базирования при разработке оснастки для сборки узлов из маложестких деталей: дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / Ха Ван Чьен. – Иркутск, 2014. – 149 с.
5. Корнилов Л. Н. Системный подход к формализации процесса автоматизированного технологического проектирования в сборочном производстве / Л. Н. Корнилов, В. В. Воронько, Ю. А. Воробьев, Д. Берндт // Авиационно-космическая техника и технология, 2013. – № 5. – С. 97 – 101.
6. Виноградов В. М. Технология машиностроения: Введение в специальность / В. М. Виноградов. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 176 с.

**Севостьянов Иван Вячеславович** – д. т. н., професор кафедри металорізальних верстатів та обладнання автоматизованого виробництва.

Вінницький національний технічний університет.