

І. В. Севостьянов, д. т. н., доц.

РАЦІОНАЛЬНА ПОСЛІДОВНІСТЬ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ

У статті запропоновано раціональну методика 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.

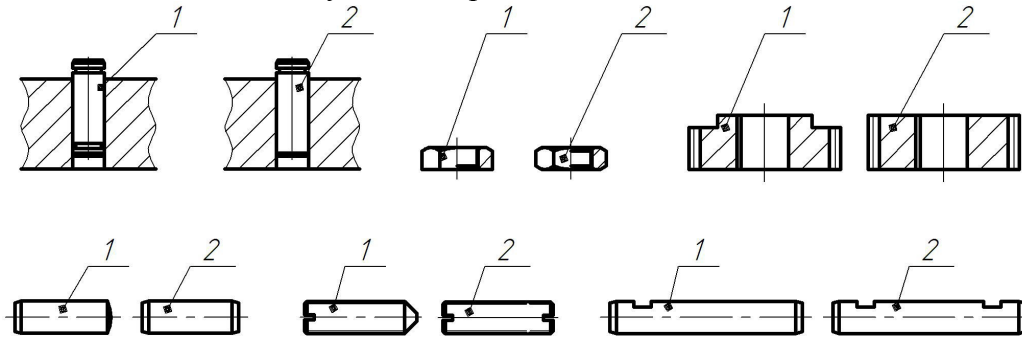


Рис. 1. Приклади підвищення технологічності деталей за рахунок забезпечення симетрії по зовнішньому контуру: 1 – нетехнологічна конструкція; 2 – технологічна конструкція

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 проекцій 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 відрізнятися).

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.

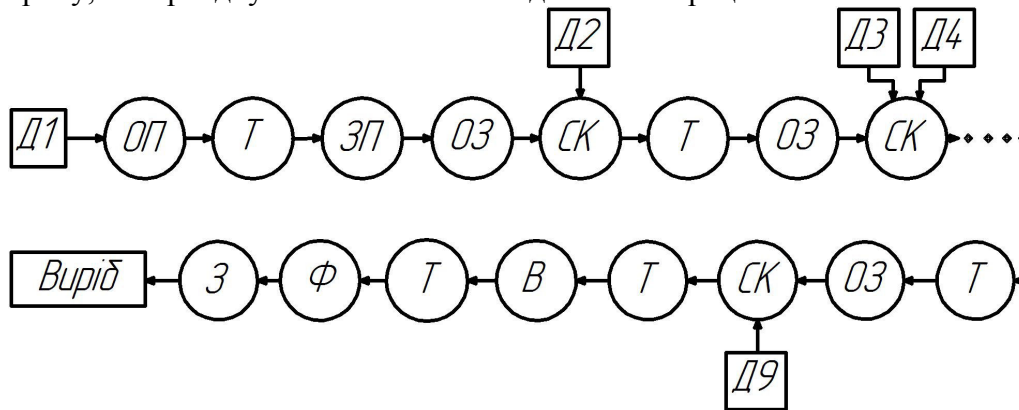


Рис. 2. Приклад технологічної схеми складання: Д1, Д2, Д3, ..., Д9 – деталі виробу; ОП – очищення та промивання; Т – транспортування; ЗП – завантаження в магазинний пристрій та подача; ОЗ – орієнтування та закріплення в робочій позиції складання; СК – складання та контроль його якості; В – випробовування 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_{δ} – 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); α , β – 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.

I. V. Sevostianov, Dc. Sc. (Eng.), Ass. Prof.

RATIONAL SEQUENCE OF DESIGNING ASSEMBLING PROCESSES

The paper proposes a rational procedure of designing assembling processes, which makes it possible to analyze a large number of assembling processes at minimum time and to choose the optimal one.

Key words: *assembling, product, labor intensity, cost, automated production, computer-aided analysis and synthesis.*

At present assembling processes, including automated processes, are widely used both in mass and batch production [1, 2, 3]. Much attention is paid to rationalization of these processes in order to reduce the number of operations to be performed, to reduce the cost of equipment and tooling as well the cost of operations and the rank of works, to increase productivity and reliability of the equipment. Due to the availability of a large number of various technologies and equipment for automated assembly as well as due to the necessity to take into account many initial parameters, selection of the assembling process realization variant, that will be the most appropriate in definite situation, is quite a labor consuming procedure [1, 2, 3, 4, 5]. Taking the above-mentioned into account, a rational procedure of designing variants of assembling processes is proposed.

The aim of this work is to develop a procedure that will enable automated design of the processes of assembling modern complex products with a justified selection of the most optimal assembling process from a large number of available variants according to several main criteria.

Introduction

At the first stage of assembling technology design it is necessary to maximally increase manufacturability of the product to be assembled [2, 3]. For this a possibility is considered to use cylindrical, conical and spherical clearance and pressure joints without thermal treatment, rolled and pressure joints (preferably made by cold and spot welding) in its design as well as soldered connections (especially with pre-tinning), screw and pin joints, riveted joints (with rivets that punch holes themselves) and also joints with split C-rings as more adaptable for assembling, especially if automated assembling is required [1].

Easy access to fasteners is checked and ensured for maximally wide application of automated nut-setters and screwdrivers in the assembling processes. With the same purpose fasteners are combined into sets (e.g. a screw or a bolt in the set with a nut and a C-ring) [1].

It is also necessary to make sure that there are axial limiters at the shafts and axes of the product (collars, flanges) in order to provide the possibility of automated precise fitting of mating parts on them (gears, half-couplings, sprockets). It is also necessary for pressed-in and screwed parts to have guiding elements to prevent their radial shift. To fasten covers and flanges, split C-rings are used, if possible, as more suitable for automated installation. [1].

For the components of welded joints the elements of their pre-orientation are required (collars, limiters, contact seat surfaces of appropriate shapes) for precise fitting of these parts in definite positions before welding. The distances between the areas of product components to be welded and their precise elements (seat surfaces, threads) should be maximally increased in order to reduce thermal deformations during the welding process [1].

In order to simplify the design of automated assembling equipment, symmetry of the fasteners should be provided (Fig. 1) [1], which makes it possible to do without their pre-orientation mechanisms. Efforts are made to maximally reduce the number of parts in the product, to simplify their configuration, to provide datum surfaces of base members for realization of standard and accurate schemes of their location during assembling process.

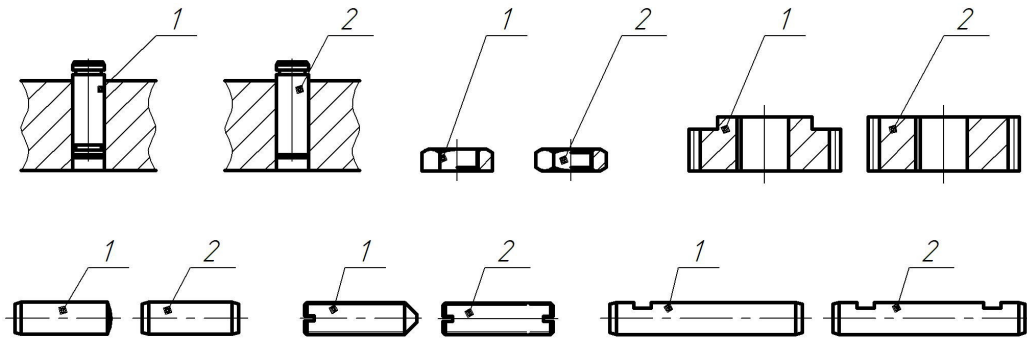


Fig. 1. Examples of increasing adaptability of the parts for assembly by means of providing symmetry relative to the outer contour: 1 – construction non-adaptable for assembly; 2 – adaptable construction

Unified, standard and normalized parts should be used in the product design. It is expedient to compare coefficients of unification – $K_{u,n}$, normalization $K_{n,n}$, and standardization – $K_{s,n}$ of the product to be assembled [6] with corresponding coefficients $K_{u,o}$, $K_{n,o}$, $K_{s,o}$, of the analogous product, that is already produced and the construction of which is considered to be the most rational at the given moment of time:

$$K_{u,n} = \frac{n_u}{N} \leq K_{u,o}; K_{n,n} = \frac{n_n}{N} \leq K_{n,o}; K_{s,n} = \frac{n_s}{N} \leq K_{s,o}, \quad (1)$$

where n_u , n_n , n_s – the number of unified, normalized and standardized parts of the product to be assembled; N – total number of parts in it.

A set of design documentation for the product to be assembled (assembly and working drawings, specifications, the product design description and the sequence of its assembly) is developed. Availability of the required projections and cross-sections, accuracy parameters of joints and of the parts mutual location is checked as well as availability of data about forces necessary for pressing-in the parts, torques for tightening the bolts and nuts, tightness of the joints, masses of the product and of its components, accuracy of balancing the rotary parts. Besides, information is collected about the required number of parts to be assembled, the predefined productivity of assembling process, permissible cost of the automated equipment to be used, the terms given for its preparation [3]. The collected information is analyzed in detail.

Then it is expedient to determine organizational form of the assembling process, which could be either stationary or movable (with the application of conveyor) [3]. For stationary assembly the main basic part of the product or of its unit is located stationary in the assembly shop while other units and parts to be connected are supplied to it from different sides. In the case of conveyor assembly this basic part is continuously transferred along the assembly shop (or shops) while other units and components are joined to it. Organizational form is chosen for assembling each unit and for assembling the product as a whole (in certain cases organizational forms of assembling separate units of the product and for assembling the same product as a whole could be different).

The assembling process diagram is developed (Fig. 2), which contains information about the names and sequence of the basic and auxiliary operations to be performed with indication of the product components to be joined at each of the assembly operations.

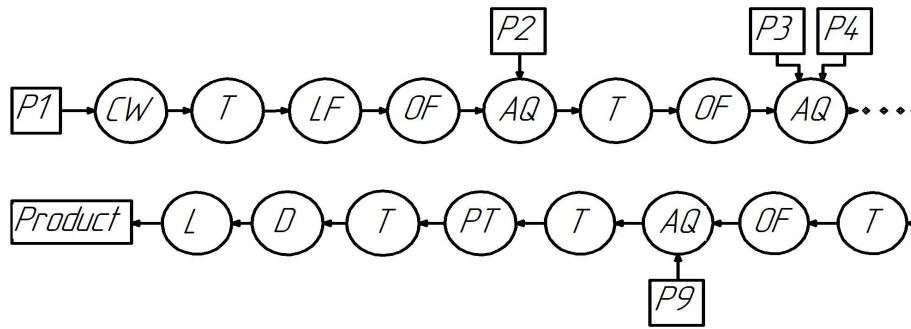


Fig. 2. An example of the assembling process diagram: P1, P2, P3, ..., P9 – parts of the product; CW – cleaning and washing; T – transportation; LF – loading into the magazine device and feeding ; OF – orientation and fixing in the working position for assembling; AQ – assembling and its quality control; PT – product testing; D – dying; L – lubrication; N – names of the assembling operations

In accordance with [6], production type, including realization of assembling processes, can be determined by coefficient $k_{a.o}$ of appointing operations, equal to the ratio of the number $n_{o.m}$ of assembling operations to be performed within a month and the number of working places $n_{w.p}$. $n_{o.m}$ is calculated by the formula

$$n_{o.m} = n_{o.m1} \frac{n \cdot n_{w.d.m}}{T_p}, \tag{2}$$

where $n_{o.m1}$ – the number of technological operations for assembling one product (it is determined using the assembling process diagram, Fig. 2); n – the required number of the products to be assembled; T_p – permissible time for assembling n products (in working days); $n_{w.d.m}$ – average number of working days in a month (could be assumed to be 20,83).

Then

$$k_{a.o} = \frac{n_{o.m}}{n_{w.p}} = n_{o.m1} \frac{n \cdot n_{w.d.m}}{T_p n_{w.p}}. \tag{3}$$

If $k_{a.o} < 1$, production is related to mass production type, if $1 \leq k_{a.o} \leq 10$ – to large-volume production, if $10 < k_{a.o} \leq 20$ – to average-volume production, if $20 < k_{a.o} \leq 40$ – to small-volume production, if $k_{a.o} > 40$ – to single-piece production [6].

Automation degree is determined for each operation of the designed assembling process (manual, semiautomatic, automatic). Equipment and tooling for its implementation is chosen. Main criteria for such choice are as follows: cost C of the operation, if it is performed manually - C_m , with the use of semiautomatic – C_s and automatic – C_a equipment as well as corresponding labor intensity (per piece time) of performing the operation with a certain degree of automation – $T_{p.m}$, $T_{p.s}$, $T_{p.a}$.

Labor intensity $T_{p.m}$, $T_{p.s}$, $T_{p.a}$ [min] for conditions of large-volume and mass productions are determined by the formula [2]

$$T_{p.p} = (T_m + T_a) \left(1 + \frac{\alpha + \beta}{100} \right) + \frac{T_{p.c}}{n} \quad T_{p.s} = T_m + T_a + \frac{T_{p.c}}{n}; \quad T_{p.a} = T_m + T_a + \frac{T_{p.c}}{n}, \tag{4}$$

where T_m , T_a , $T_{p.c}$ – main, auxiliary and preparatory-concluding time, which for manual operation is determined according to normative documents and depending on its name (if semiautomatic or automatic equipment is used, T_m , T_a are calculated proceeding from productivity and operating mode of the latter); α , β – time losses caused by organizational-technical maintenance and normalized breaks, which are in the range of: $\alpha = 0,6 - 8\%$ and $\beta = 2 - 4\%$ depending on the batch production type [2].

For single-piece and batch production $T_{p.m}$ is determined as [2]

$$T_{p.m} = T_m + T_a + \frac{T_{p.c}}{n}, \quad (5)$$

while for calculating $T_{p.s}$, $T_{p.a}$ for the above productions, formulas (4) should be used.

Then for each proposed variant of the product assembling process with the application of manual, semiautomatic or automatic way of performing certain operation it should be checked if the following condition is satisfied:

$$\left(\sum_{i=1}^m T_{p.i} - \sum_{i=1}^k T_{p.i} \right) n \leq T_p \cdot 8 \cdot 60 \cdot n_s, \quad (6)$$

where i – the number of operations in the considered assembling process variant; m – total number of operations in the variant considered; k – number of the process operations that could be performed in parallel (simultaneously) and T_p of which does not exceed T_p of the limiting operation performed in parallel; n_s – the number of working shifts at the enterprise with the duration of 8 hours.

If computer equipment and corresponding standard software products (e.g., Microsoft Excel) are used, it could be checked if condition (6) is satisfied for all possible variants of the product assembling process for manual, semiautomatic or automatic realization of each operation and to select all permissible variants.

For each permissible option the cost is determined, taking [3] into account:

$$C = \sum_{i=1}^m [T_{p.i} (S_{p.i} + C_{m.i})] + \sum_{i=1}^m \frac{T_{p.c.i}}{n} S_{s.i} + [100(k_a + k_e) C_{eq}] / n, \quad (7)$$

where $S_{p.i}$, $S_{s.i}$ – per minute salary of the principal worker and of the setter in performing i -th operation of the variant considered; $C_{m.i}$ – the cost of 1 minute of the assembling equipment work during i -th operation of the variant considered, which is approximately determined according to the norms of the enterprise or by the formula presented in [3]; k_a , k_e – coefficients of amortization and exploitation of the assembly tooling ($k_a = 0,2 - 0,5$, $k_e = 0,2$ [3]); C_e – cost of the entire assembling equipment and tooling used for realization of the variant under consideration.

For each permissible variant of the given product assembling process one more condition is checked

$$C_e \leq C_{e.p}, \quad (8)$$

where $C_{e.p}$ – permissible cost of the equipment used in the variant under consideration. On the results of checking if condition (8) is satisfied, the list of of the assembling process permissible variants is re-considered. From the variants, that are left, the optimal option is selected – the one for which C is the lowest.

Then routing technology of the optimal assembling process variant is developed taking into account expediency of concentration or differentiation of operations as well as giving more precise information about the names and types of equipment and tooling used in it. While building routing technology, operations with high probability of failures are selected, for which corresponding production reserves should be provided [3].

Datum surfaces and location schemes are chosen. Maximally wide application of the principles of combining datum surfaces and keeping them constant should be provided [3] as well as standard location schemes and universal standard tooling for their implementation. For this, even correction of configuration and size of some components of the product could be used as well as alteration of the elemental composition of the latter.

The final stage of assembling process design is development of its operational technology, where the content of operations and expediency of their concentration is refined once again [3]. At the

same stage forces of pressing-in the parts, torques and forces required for tightening the fastening elements are determined. Parameters of the operating modes of the chosen automatic or semiautomatic assembling equipment are calculated, design documentation for manufacturing specialized and special tooling to be used in the developed manufacturing process is elaborated.

Conclusions

1. At the initial stages of the assembling process design it is expedient to provide manufacturability of the product design as well as maximal degree of standardization, normalization and unification of its components.

2. The paper presents a procedure for assembling process parameters computation. It includes determination of the number of assembling operations, known dependencies as well as formulas, proposed by the author, in particular, those for determination of the number of assembling operations, coefficient of their appointment, assembling cost, which are simpler than corresponding known dependencies.

3. Main criteria for choosing the most rational technology of the processes under consideration are labor intensity and cost of assembling the product in the each realization variant as well as the cost of assembling equipment and tooling used. With respect to this, the paper proposes conditions of verification of the designed process variants for their rationality according to the given criteria.

4. Using the procedure, presented in the paper, software could be developed for computer-aided multi-variant synthesis and analysis of highly efficient automated assembling processes.

REFERENCES

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.

Sevostianov Ivan – Dc. Sc. (Eng.), Prof. of the Department of Metal-Cutting Machine Tools and Equipment for Automated Production.

Vinnitsia National Technical University.