

**Вислоух С.П., к.т.н., доцент,  
Філіппова М.В. асистент,  
Національний технічний університет України "КПІ"**

## **МЕТОДИКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ**

*В статті розглянуті питання створення алгоритмів технологічного поділу виробів та формування порядку їх з'єднання, а також розроблені методичні основи автоматизованого розв'язання задач проектування технології складальних робіт.*

**Вступ та постановка задачі.** Автоматизація технологічної підготовки виробництва (ТПВ) є основним фактором забезпечення конкурентоспроможності виробів в ринкових умовах. Швидка підготовка виробництва нової продукції і постійної модернізації старої неможлива без автоматизації розв'язання основних задач ТПВ [1].

Інформація, що міститься в технологічному процесі складання, є вихідною для вирішення більшості завдань планування і організації виробництва, вона визначає вимоги до технології механічної обробки, заготівельному та іншим виробництвам тощо.

Крім того, підвищені вимоги до термінів випуску нової продукції та їх якості, а також тенденції до широкого впровадження інформаційних технологій, розвиток імітаційного моделювання організації віртуальних виробництв роблять актуальним проблему розробки таких методів автоматизованого проектування технологічних процесів, які забезпечують максимальний рівень автоматизації та інваріантності щодо класів виробів.

Аналіз робіт з автоматизації проектування технології складання виробів показує, що помітне підвищення рівня його автоматизації, розширення функцій та, відповідно, області застосування систем автоматизованого проектування може бути забезпечено методом синтезу технологічного процесу, який будується на основі вивчення задач технології з погляду їх внутрішнього змісту, визначення закономірностей їх розв'язання через взаємозв'язки об'єктів технології.

В роботах А.П. Гавриша, Н.М. Капустина, В.М. Корсакова розглянуті питання розробки та інформаційного опису технологічних процесів складання як одного з основних етапів в процесі розробки

нового виробу, розвитку методів автоматизації їх проектування, наведені дослідження, що направлені на технологічне обґрунтування проектних рішень на основі структурно-логічних або теоретичних моделей процесу складання. Однак там недостатньо викладені методи автоматизованого формування самих моделей. Шляхи до вирішення даної проблеми розглядаються в роботах Б.Є. Челіщева та В.В. Павлова [2, 3, 4]. В них сформульовані технологічні властивості конструкцій виробів, а їх вплив на порядок встановлення деталей представлено у вигляді умов доступу та базування.

Сучасні дослідження А. Гонсалеса-Сабатера [5, 6], Давигори, В.А. Пасічника та В.М. Корінькова [7] направлені на теоретичне обґрунтування структури проектування, розробку інформаційних моделей об'єктів виробництва та виробничих процесів, формалізоване представлення проектних процедур, а також створення методів їх виконання. Звідси можна зробити висновок, що технологічна підготовка складання в даний момент виражена у слабоформалізованих знаннях та недостатньо приділена увага інформаційному наповненню розроблених моделей та удосконаленню методів ідентифікації структури об'єкту та процесу складання, необхідних для автоматизованого проектування технологічних процесів.

Тому поставлена задача створення методики автоматизованого проектування технологічних процесів складання виробів на основі технологічного поділу виробу на складальні одиниці та деталі, що враховують порядок їх з'єднання, та особливості сучасного приладобудівного виробництва.

**Розв'язання поставленої задачі.** Процес проектування технології складання приладів потрібно розглядати як складну систему, що складається з великої кількості елементів. Природа зв'язків між елементами не може бути представлено в явному вигляді та описана кількісно. Складність системи визначається одночасно існуючими специфічними характеристиками, такими як:

- багатомірність системи (великі обсяги циркулюючих інформаційних потоків, велика кількість елементів);
- значна кількість форм зв'язку елементів систем між собою (різномірність структур, що використовуються, які можуть бути деревовидними, ієрархічними тощо);
- багатокритеріальність, тобто наявність декількох, інколи протирічних критеріїв, яким повинна задовольняти система тощо

Всі перераховані характеристики визначають процес проектування технології складальних робіт в приладобудуванні [8, 9]. При

проектуванні технології використовуються великі масиви інформації – методи складання, використовувани обладнання та інструмент, вид деталей тощо. При цьому використовується постійна інформація, що характеризує умови виробництва, умовно-постійна інформація про обладнання та інструмент, інформація про режими і умови складання та способи забезпечення точності, змінна інформація про виріб, що складається, тобто деталі, складальні одиниці, зв'язки між ними тощо.

Для того щоб описати розв'язання задачі послідовності проектування технології складання, необхідно визначити етапи отримання інформації, її склад та функцій, за допомогою яких ця інформація може бути отримана.

Математичний опис задачі побудови послідовності процесу складання доцільно розбити на два рівня.

На першому рівні будується інформаційна модель проектування, де виконується класифікація об'єктів, їх відношення та розкривається структура рішення поставленої задачі.

На другому рівні будується логічна модель, де описуються функції перетворення інформації, яка представлена у вигляді кінцевих множин значень змінних та їх відношень на етапах проектування. На даному рівні розкриваються умови формування підмножин технологічних об'єктів, всі елементи яких мають задані властивості або знаходяться у заданих відношеннях між собою або з елементами інших множин. Для опису перетворення цих функцій використовується апарат логіки предикатів першого роду.

Методика проектування технологічних процесів складання містить правила побудови загальних проектних рішень, які визначають структуру технологічного процесу. Ці правила формалізовані в такій мірі, що є достатньою для побудови програмного забезпечення автоматизованого синтезу технологічних процесів, та представляються у вигляді алгоритмічних схем рішення загальних задач проектування у відповідності до інформаційних та логічних моделей. У вказаних моделях визначені основні проектні рішення та послідовність їх будови, описано апарат формалізації технологічних задач, досліджені основні закономірності, які характеризують вплив взаємодії елементів конструкції виробу та елементів виробничого середовища при вирішенні задач проектування технології складального виробництва.

Процес проектування технології складання поділяється на дві основні частини, які можна використовувати як автономно, так і спільно:

- формування схеми складання, що містить інформацію про структуру виробу та послідовність приєднання утворюючих його

елементів;

- формування операцій, що включає визначення складу елементів, що приєднуються, в операції, види робіт, засобів і інших параметрів, які утворюють опис складальних операцій і переходів.

Одним з питань, які вирішуються при розробці автоматизованої системи проектування технології складання, є питання оптимального технологічного поділу, тобто розбиття конструкції виробу на складові частини, які можна скласти незалежно одна від одної.

Методика рішення задачі технологічного поділу будується на основі використання наведених нижче технологічних положень.

Положення 1. Будь-яка складальна одиниця, що виділена при технологічному поділі, повинна складатись незалежно.

Положення 2. Технологічне членування повинне забезпечувати можливість максимальної диференціації складального процесу, тобто можливість здійснення складання найбільшої кількості елементів незалежно один від одного.

Положення 3. Складальна одиниця, як правило, не повинна розкладатись після її складання.

Положення 4. В одну складальну одиницю варто виділити з'єднання, виконання яких можливо на одному робочому місці.

На рис. 1 наведено схему технологічного поділу окуляру об'єктива на окремі складальні одиниці, тобто виділено з множини деталей приладу такі підмножини, що не перетинаються. При цьому кожна з цих підмножин задовольняє вимогам до множини деталей, які створюють складальну одиницю.

Виконання першого положення в алгоритмі технологічного поділу забезпечується тим, що при технологічному членуванні в складальну одиницю включають деталі, що утворюють між собою з'єднання, тобто деталі, що знаходяться в стані силового замикання. Якщо в складальну одиницю поєднують кілька з'єднань, то вони повинні мати загальні деталі, що забезпечує виконання відносини зв'язаності для всіх деталей групи з'єднання.

Друге положення реалізується тим, що всі з'єднання виробу розбиваються на максимально можливу кількість незалежних груп (за умови відсутності загальних деталей між різними групами).

Третє технологічне положення означає, що в склад складальної одиниці не включаються деталі, що обмежують доступ деталям, які до неї не входять. При невиконанні цієї умови з виникненням необхідності встановлення таких деталей потребується попередньо зняти деталі, які обмежують доступ до місця встановлення.

Виконання четвертого технологічного положення забезпечується

поділом всіх складальних робіт на групи, які можуть бути виконані на одному робочому місці. В окрему складальну одиницю при технологічному поділі виділяють з'єднання з видом робіт однієї групи.

Розроблено алгоритм технологічного поділу виробу на складальні одиниці. В якості вихідних даних в цьому алгоритмі використовуються попередньо побудовані схеми базування та доступу, а також дані про з'єднання, які створюють складальні одиниці.

Схема базування для кожної деталі  $a_i$  ( $i = 1, n$ ) містить інформацію про склад множини деталей, які є базовими для деталі  $a_i$ .

Схема доступу для кожної деталі  $a_i$  містить інформацію про склад множини деталей, які обмежують доступ  $a_i$  деталі до місця встановлення. Дані про склад з'єднань визначають деталі, які входять до складу кожного з'єднання.

Узагальнений алгоритм рішення даної задачі складається з таких етапів.

1. Множини з'єднань  $S$  розбиваються на підмножини  $S_1, \dots, S_k$  з однаковою ознакою "група робіт".

2. Множини  $S_1, \dots, S_k$  впорядковуються відповідно до необхідного порядку виконання груп робіт.

3. У кожній множині  $S_i$  визначають  $S_i^k \in S_i$  з'єднання, що обмежують доступ з'єднанням з іншої множини  $S_j$ .

4. З'єднання  $S_i^k$  переносяться з  $S_i$  у  $S_j$  якщо  $i < j$ .

5. Кожна множина  $S_i$  розбивається на підмножини  $S_i^1, \dots, S_i^k$ , де кожна підмножина, крім першої, містить базові деталі для деталей з'єднань з попередньої підмножини.

6. У черговій підмножині  $S_i^n$  визначаються з'єднання з деталями, що обмежують доступ до деталей з'єднань з підмножин з більшим порядковим номером.

7. Виділені в  $S_i^n$  з'єднання переносяться до складу підмножини.

8. У підмножині  $S_i^n$  виділяються групи з'єднань  $\{G_{s1}, \dots, G_{sk}\}$ , де з'єднання мають хоча б одну загальну деталь.

9. Кожній із сформованих груп з'єднань надається черговий номер технологічної складальної одиниці.

10. Здійснюється перехід до п. 6 до повного перебору всіх груп з'єднань з множини  $S$ .

Відповідно до цього алгоритму технологічні складальні одиниці формуються по різних рівнях: на першому рівні — складальні одиниці, що складаються тільки з деталей, на наступних рівнях — ті, які складаються з деталей та раніше сформованих складальних одиниць.

Наведений алгоритм описує завершальний етап побудови порядку встановлення деталей при складанні кожної окремої складальної одиниці.

Основними обмеженнями, які накладаються на сформований порядок встановлення деталей є:

- визначеність базування;
- доступ деталей до місця їх встановлення;
- готовність баз для встановлення деталі.

Визначеність базування забезпечується виконанням умови: "якщо визначеність базування деякої деталі  $a_i$ , забезпечується з'єднанням  $S_i$ , то після встановлення деталі  $a_i$  визначають всі ще не встановлені деталі даного з'єднання". Доступ деталей забезпечується виконанням умови «якщо деталь  $a_i$  обмежує доступ деталі  $a_j$  до місця встановлення, то деталь  $a_j$  встановлюють перед деталлю  $a_i$ .

Готовність баз забезпечується виконанням умови "якщо деталь  $a_i$ , є базовою для деталі  $a_j$ , то деталь  $a_i$  встановлюють перед деталлю  $a_j$ ".

В схему рішення цієї задачі входять два основних етапи.

На першому етапі всі з'єднання складальної одиниці розбиваються на підмножини, що утворюють кортеж  $\langle S^1, \dots, S^n \rangle$ , де  $S^i$  — підмножина з'єднань, у якому порядок з'єднань, що в нього входять, не регламентований. Самі підмножини  $S^i$  між собою упорядковуються з врахуванням обмежень по базуванню і доступу.

На другому етапі деталі також упорядковуються в кожному з'єднанні з врахуванням обмежень по базуванню і доступу.

Упорядкування деталей в кожному з'єднанні також здійснюється за два етапи.

На першому етапі всі деталі з'єднання упорядковують по групах доступу, що сформовані раніше при побудові схеми доступу. В одну групу доступу  $A_i$ , входять деталі з'єднання, що не обмежують один одному доступ до місця встановлення, і, отже, їхній порядок відносно один одного обмеженням з доступу не є регламентованим.

На другому етапі деталі кожної групи доступу  $A_i$ ,

упорядковуюються з врахуванням обмежень схеми базування. Таким чином, усі деталі кожного з'єднання будуть упорядковані з врахуванням схем доступу і базування.

Оскільки деталь може входити в інші з'єднання, то в побудованій упорядкованій множині деякі деталі будуть повторюватися. Виключенням таких повторів завершується розв'язання задачі поділу виробу на складальні одиниці.

Нижче представлено узагальнений алгоритм рішення, відповідно до якого упорядковуються з'єднання і деталі в складальній одиниці. Для кожної чергової складальної одиниці процедура повторюється. Цей алгоритм полягає в наступному.

1. Визначаються множини з'єднань  $S$ , що включають базову деталь  $a_b$  складальної одиниці  $S = \{S_j / S_i \in a_b\}$ .

2. З'єднанням  $S$  надається перший порядковий номер  $(S^1)$ .

3. Визначається множина з'єднань  $S_k$ , які для деталей з'єднання з  $(S^1)$  є базовими:  $S_k = \left\{ S_j / S_i \leftrightarrow S_j, S_i \in S^1 \right\}$

4. Зі з'єднання  $S_k$  виділяється підмножина з'єднань  $S_r$ , що не обмежують доступ з'єднанням, які не ввійшли в  $(S^1)$

5. З'єднанням  $S_r$  надається наступний порядковий номер.

6. Упорядковуються з'єднання складальної одиниці, що залишилися, і в підсумку будується кортеж  $S < S^1, \dots, S^n >$ .

7. Вибирається чергове з'єднання  $S_i$  з  $(S^1)$ .

8. Впорядковуються деталі в з'єднанні згідно груповому доступу  $S_i = \langle A_1, \dots, A_i, \dots, A_n \rangle$ , де  $A_i$  - підмножина деталей з однаковою групою доступу,  $i$  — номер групи доступу.

9. Впорядковується множина деталей кожної групи доступу по базуванню.

10. Повторюються пункти 7...9 для всіх  $S_i$  з  $(S^1)$  і для всіх  $S^i$  з  $S$ .

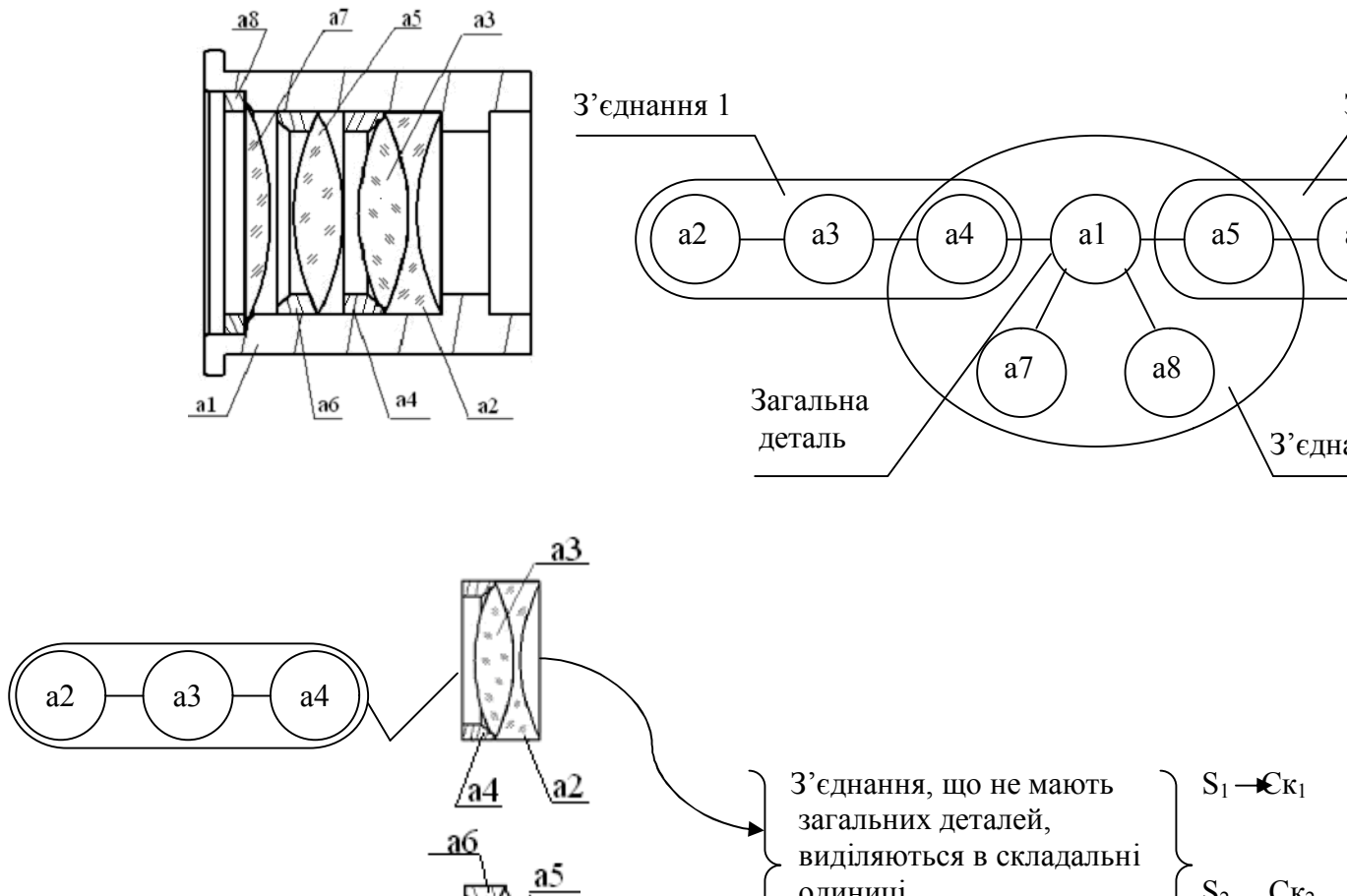
11. Виключаються повторення деталей у різних з'єднаннях.

Побудований за даною схемою порядок виконання з'єднань і установки деталей буде задовольняти розглянутим вище регламентуючим обмеженням.





Рис. 1 Схема технологічного поділу окуляру





Описану вище модель складального процесу можна представити в вигляді фрейма:  $\Pi = [\Omega_i^p (S_p^\Omega [\pi_j^k (S_k^\pi)])]$ , де  $\Omega_i^p$  - фрейм  $i$ -ї технологічної операції  $P$ - виду;  $\pi_j^k$  - фрейм  $j$  - го технологічного переходу  $k$  - виду;  $S_p^\Omega$  - множина слотів, які описують атрибути операцій  $P$  - виду та їх параметри;  $S_k^\pi$  - множини слотів, яка описує атрибути переходів  $k$  - виду та їх параметри. Задача формування складальних операцій зводиться до визначення складу, послідовності та значень параметрів  $k$  та  $p$ .

Послідовність параметрів  $k$  визначається послідовністю встановлення елементів, що входять до складальної одиниці, яка задається технологічною схемою складання, та послідовністю виконання робіт, що є характерними для конкретного виду операцій.

Параметри  $k$ , по суті характеризують вид переходу, а  $p$  - інформацію, яка визначає даний вид переходу.

Таким чином, можна побудувати типову параметричну модель операцій складального процесу. Кожна така модель є описом структури типової операції (ТО) визначеного виду. При цьому склад елементів даної структури може змінюватись в залежності від конструктивно - технологічних особливостей виробу та з'єднань.

Розв'язання задачі автоматизованого формування складальних операцій зводиться до п'яти основних етапів.

1. По конструктивно-технологічних особливостях з'єднань визначаються види операцій, що є необхідними для виконання з'єднань з необхідною якістю.

2. Формується інформація для визначення ТО по кожному з'єднанню. Тут визначаються властивості виконуваних з'єднань, види і розміри отворів під технологічні й основні кріпильні деталі, вимоги до покриття, змащення тощо.

3. Для кожного виду операції з врахуванням особливостей складальної одиниці і виконуваних з'єднань визначається структура ТО, тобто склад ключових і супутніх параметрів.

4. Визначаються значення кожного елемента структури ТО і таким чином, формується в основному зміст технологічної операції.

5. Заповнені конкретним змістом ТО при необхідності поєднуються в робочі операції з врахуванням єдності видів робіт, устаткування, оснащення, необхідної послідовності і форми організації складального процесу.

Перші чотири етапи відтворюються на основі розроблених

класифікаторів елементів і властивостей складальних одиниць, з'єднань і параметрів операцій, а також табличних математичних моделей, що описують залежності між конструктивно-технологічними особливостями складальних одиниць, з'єднань і деталей, з одного боку, і складом і значеннями параметрів ТО — з іншої.

**Висновки.** Аналіз робіт з автоматизації проектування технологічних процесів складання виробів дозволив визначити основні напрямки розв'язання задачі автоматизації проектування процесу складання виробів, а саме задачі технологічного поділу виробів на складальні одиниці та деталі й встановити порядок їх з'єднання.

Представлені алгоритм технологічного поділу виробів на складові частини та алгоритм формування порядку їх з'єднання дозволяють формалізувати технологію складального процесу.

Розроблені методичні основи автоматизації розв'язання задач проектування технології складальних робіт використані при створенні автоматизованої системи проектування технологічних процесів складання виробів приладобудування.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Гонсалес-Сабатер А.* Содержание задачи автоматизации процесса проектирования технологии сборки изделий машиностроения. Сборка в машиностроении, приборостроении. № 10, 11, 2001.

2. *Челищев Б.Е., Боброва И.В., Гонсалес – Сабатер А.* Автоматизация проектирования технологии в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1987. – 264с.

3. *Павлов В.В.* Основы автоматизации проектирования технологических процессов. – М.: МАТИ, 1975. – 72 с.

4. *Павлов В.В.* Математическое обеспечение САПР в производстве летательных аппаратов. – М.: МФТИ, 1978. – 68 с.

5. *Гонсалес-Сабатер А.* Построение математической модели для автоматизированного решения задач проектирования технологии сборки изделий машиностроения. Сборка в машиностроении, приборостроении. № 1, 2, 2002.

6. *Гонсалес-Сабатер А.* Методические основы автоматизации решения задач проектирования технологии сборки. //Сборка в машиностроении, приборостроении. № 5, 2002. с. 3-10.

7. *Кореньков В.М.* Автоматизированный синтез маршрутных технологических процессов складання: Дис. к.т.н 05.02.08. - К., 2005. - 171 с.

8. *Філіппова М.В.* Основи моделювання складальних одиниць та приладів. Космічна наука і технологія: Матеріали IV молодіжної науково-технічної конференції «Людина і космос». – Київ: Національне космічне агентство України, Національна академія наук України, 2003, том 9, № 1, - с.122-125.

9. *Філіппова М.В.* Моделювання складальних одиниць та технології складання виробів в приладобудуванні. Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. Приладобудування. – 2003. –Вип. 26. , - с.92-100.

ВИСЛОУХ Сергій Петрович - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри виробництва приладів приладобудівного факультету Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”

Наукові інтереси:

- математичне моделювання та оптимізація технологічних параметрів;
- багатомірний статистичний аналіз технологічних параметрів;
- системи автоматизованного проектування технологічних процесів.

ФІЛІППОВА Марина В'ячеславівна

асистент, кафедри виробництва приладів приладобудівного факультету Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”

Наукові інтереси:

- інформаційне моделювання об'єктів проектування та технології їх складання;
- системи автоматизованного проектування технологічних процесів.

Подано 30.11.2006