

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**СКЛАДАЛЬНІ ПРОЦЕСИ В МАШИНОБУДУВАННІ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних робіт

для студентів напряму підготовки 6.050502 Інженерна механіка

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Складальні процеси в машинобудуванні» для студентів напряму підготовки 6.050502 Інженерна механіка: / Укладачі: Лашина Ю.В., Кореньков В.М. – К.: Електронне видання, 2013. – 13 с.

Укладачі:                               Лашина Юлія Вікторівна, канд. техн. наук, ст. викл.  
  Кореньков Володимир Миколайович, канд. техн. наук, доцент

Рецензент:

Відповідальний редактор:

## Лабораторна робота №1

**РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ СКЛАДАННЯ ВИРОБУ**

**Мета роботи:** набуття навичок аналізу складального виробу та підготовки до розроблення технологічного процесу складання.

**Загальні відомості:**

**Технологічний процес складання** – технологічний процес, який містить дії по встановленню та утворенню з'єднань складових частин заготовки або виробу.

**Складальна операція** – технологічна операція встановлення та утворення з'єднань складових частин заготовки або виробу.

**Складальна одиниця n-го порядку** – складальна одиниця, яка складається на n-му етапі процесу складання.

**Послідовність складання** – послідовність введення деталей та складальних одиниць в технологічний процес складання.

Процес комплектування складальних одиниць виробу для наочності зображують у виді схем.

**Схема складання виробу** – графічне зображення у виді умовних позначень послідовності складання виробу або його складової частини.

Цю схему слід будувати так, щоб відповідні складальні одиниці (групи, підгрупи) і деталі були представлені в порядку їх введення в технологічний процес складання.

Оскільки процес складання починається з введення в нього основної, або, як її зазвичай називають, базової деталі або СО, то, очевидно, і схема повинна починатися з умовного зображення цих складових частин виробу. Деталі, підгрупи і групи зображують на схемі у вигляді невеликих прямокутників, в які вписують індекс, номери і кількість відповідних частин. Загальна схема комплектування виробу представлена на рис. 1.

Для машини з великою кількістю деталей і складальних одиниць розгорнута схема може бути громіздкою і тому незручною для користування. У таких випадках у виробництві застосовують укрупнені схеми (рис. 1, а), на

які наносять тільки умовні позначення груп, а також деталей, що не входять в групи і підгрупи.

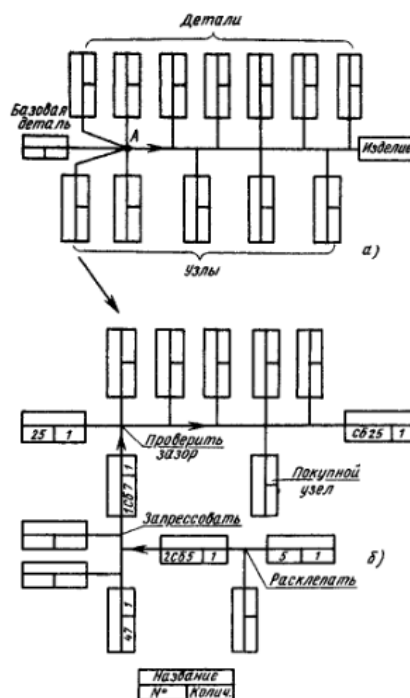


Рис. 1 Технологічна схема складання: а) загального, б) вузлового

**Базова деталь** – деталь, з якої починають складання виробу і до якої приєднують інші деталі та/або складальні вироби. Це деталь з базовими поверхнями, що виконує в складальному з'єднанні (вузлі) роль сполучної ланки, яке забезпечує при складанні відповідне відносне положення інших деталей.

### Методика і порядок виконання роботи:

Група студентів розділяється на парну кількість підгруп. Кожна з підгруп отримує свій складальний виріб і виконує його розкладання.

### Ролі в підгрупах

**Менеджер** – 1 особа.

**Виконавці процесу розкладання** – 1-3 особи.

**Розробники документації** – 1-4 особи.

**Нормувальники** – 2 особи.

**Консультант** – 1 особа.

### Порядок виконання роботи:

1. Виконати розкладання виробу.
2. Зафіксувати час, витрачений на виконання технологічних операцій розкладання.
3. Розробити структурну схему декомпозиції виробу.
4. Проаналізувати з'єднання деталей.
5. Розробити технологічну схему складання виробу.

### Приклад розроблення схеми складання

Розглянемо складальний виріб «Маточина» [3] (рис. 2).

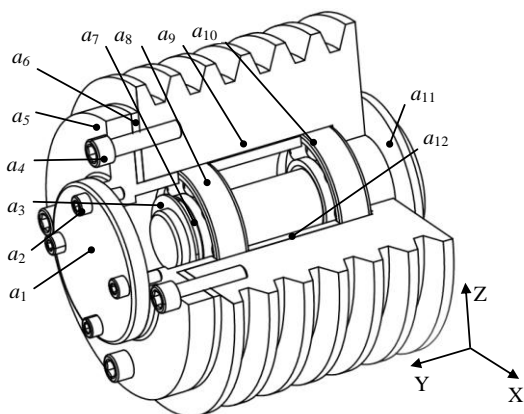


Рис. 2 СВ «Маточина»:  
 $a_1$  – кришка;  $a_2$  – гвинт;  $a_3$  – стопорне кільце;  $a_4$  – гвинт;  $a_5$  – фланець;  $a_6$  – прокладка;  $a_7$  – кільце;  $a_8, a_{10}$  – підшипник;  $a_9$  – шків;  $a_{11}$  – вал;  $a_{12}$  – втулка

### Структурна схема декомпозиції виробу

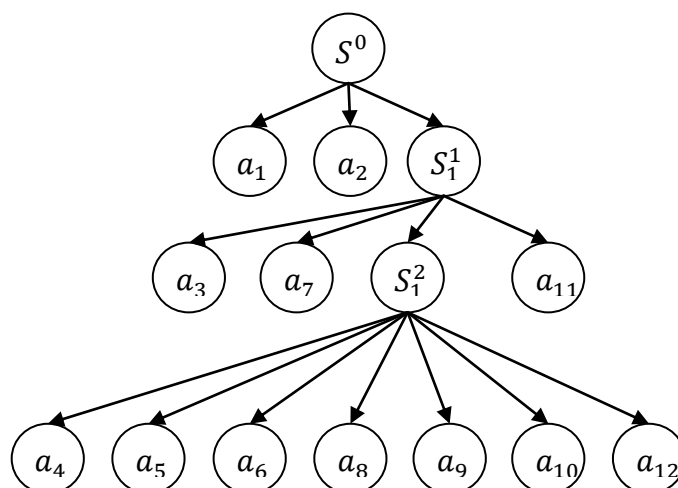


Рис. 3. Структурна схема декомпозиції виробу «Маточина»

### Визначення базових деталей складальних одиниць

На третьому (останньому) рівні декомпозиції деталь  $a_9$  «Шків» має найбільшу масу, найбільшу кількість поверхонь, які є допоміжними конструкторськими базами, забезпечує можливість встановлення інших деталей без перебазування, тому її доцільно обрати в якості базової деталі складальної одиниці  $S_1^2$ .

На другому рівні декомпозиції в якості базового елемента може виступати або складальна одиниця  $S_1^2$  або деталь  $a_{11}$  «Вал». Порівняємо варіанти складання СО  $S_1^1$ .

Варіант 1. Закріпити складальну одиницю «Шків складений» у пристрої, напресувати вал, перевстановити складальну одиницю з поворотом на  $180^0$ , встановити кільце компенсуюче, встановити кільце стопорне.

Варіант 2. Встановити вал у пристрій, напресувати складальну одиницю «Шків складений», встановити кільце компенсуюче, встановити кільце стопорне.

Як бачимо, в першому варіанті базовий елемент має більші масово-інерційні характеристики, що спрощує операцію з'єднання СО «Шків складений» та деталі «Вал», з іншого боку перший варіант передбачає переустановлення базової деталі, що призводить до додаткових витрат часу на розкріплення, кантування, повторне закріплення. Обираємо другий варіант – базова деталь  $a_{11}$ .

На першому рівні декомпозиції не викликає сумнівів доцільність призначення базовим елементом складальну одиницю  $S_1^1$  «Вал складений».

### Технологічна схема складання виробу

Після призначення базових елементів на кожному рівні декомпозиції необхідно встановити послідовність встановлення інших деталей та складальних одиниць. При цьому необхідно керуватись умовами базування

та доступу. Результат проектування послідовності складання представляємо у виді технологічної схеми складання (рис. 4)

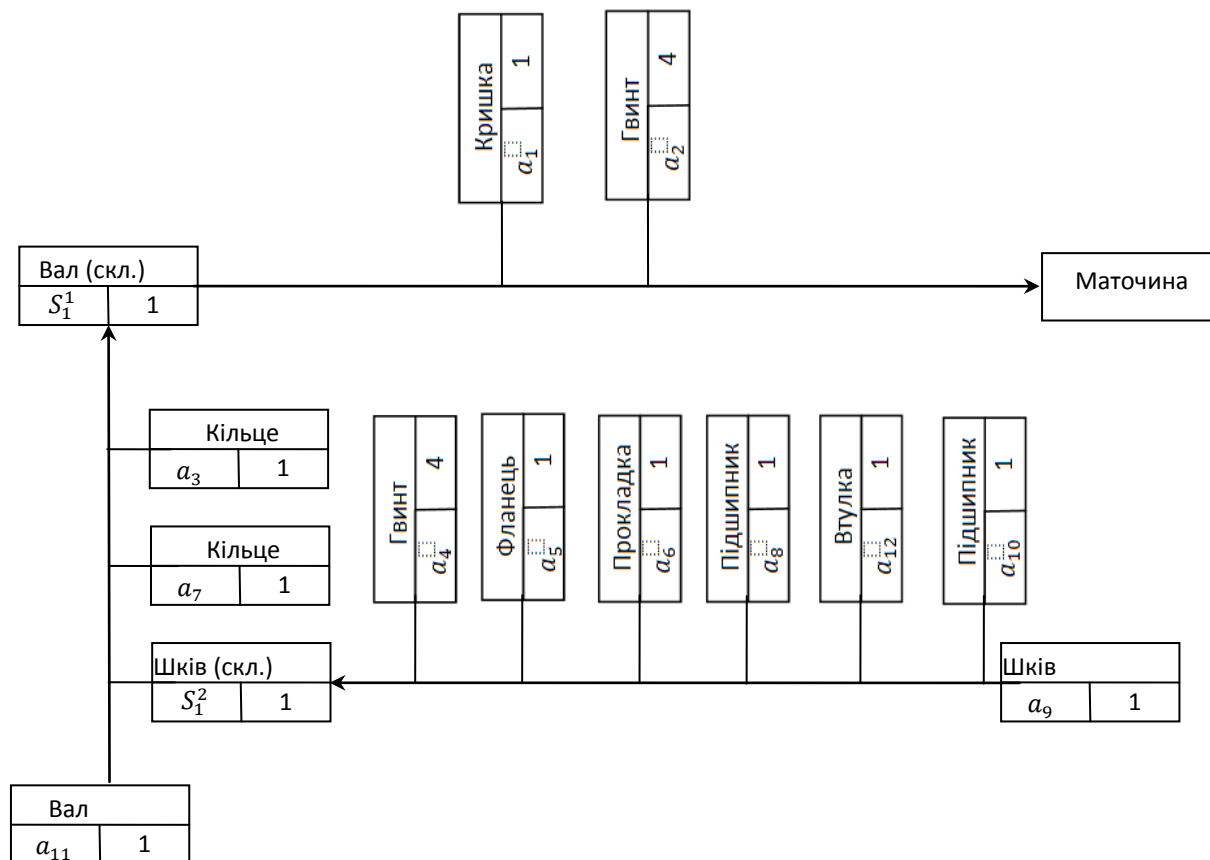


Рис.4 Технологічна схема складання виробу «Маточина»

### Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи має містити наступні складові:

1. Номер, назва, мета роботи.
2. Ескіз складальної одиниці із зазначенням номерів деталей.
3. Структурна схема декомпозиції виробу.
4. Результати аналізу з'єднань.
5. Технологічна схема розкладання виробу.
6. Маршрутний технологічний процес розкладання (ТПС) у виді табл. 2
7. Опис задач, які студент особисто вирішував при виконанні роботи.
8. Інформація про виконавців роботи.

Таблиця 1. Представлення маршрутного ТПС

№ операції	Найменування операції	Зміст операції	Час виконання розкладання, сек	Пристрій, інструмент

Таблиця 2. Результати аналізу з'єднань

№ п/п	Найменування з'єднання	З'єднані деталі	Принцип дії	Принцип реалізації



## Лабораторна робота №2

### **РОЗРОБЛЕННЯ МАРШРУТНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ**

**Мета роботи:** набуття навичок аналізу складального виробу та розроблення маршрутного технологічного процесу складання.

#### **Методика і порядок виконання роботи:**

Підгрупи студентів, сформовані під час виконання першої роботи, зберігаються. Кожна з підгруп передає результати своєї I-ої лабораторної роботи іншій підгрупі, в тому числі і деталі розкладеного виробу.

Кожній підгрупі необхідно виконати складання виробу, керуючись ескізом і схемою складання.

#### **Можливі ролі в підгрупах**

**Менеджер** – 1 особа.

**Виконавці процесу складання** – 1-3 особи.

**Розробники документації** – 1-4 особи.

**Нормувальники** – 2 особи.

**Консультант** – 1 особа.

#### **Порядок виконання роботи:**

1. Отримати деталі складального виробу.
2. Ознайомитися з технологічним процесом і схемою розкладання виробу.
3. Обрати на кожному рівні декомпозиції базові деталі.
4. Виконати складання виробу. Одночасно з цим зафіксувати оперативний час виконання технологічних переходів складання.
5. Розробити маршрутний ТП складання

Приклад маршрутного ТП складання [3] представлений в табл. 3.

Таблиця 4. Маршрутний технологічний процес складання

Номер операції	Найменування операції	Зміст операції
1	Складання шківів ( $S_1^2$ )	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закріпити шків (дет. <math>a_9</math>) у пристрої</li> <li>2. Змастити та встановити підшипник (дет. <math>a_{10}</math>)</li> <li>3. Протерти та встановити втулку (дет. <math>a_{12}</math>)</li> <li>4. Змастити та встановити підшипник (дет. <math>a_8</math>)</li> <li>5. Встановити прокладку (дет. <math>a_6</math>)</li> <li>6. Встановити фланець (дет. <math>a_5</math>)</li> <li>7. Закріпити фланець гвинтами (дет. <math>a_4</math>)</li> </ol>
2	Складання маточини $S_1^1()$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закріпити маточину (дет. <math>a_{11}</math>) в пристрої</li> <li>2. Напресувати шків (<math>S_1^2</math>) на маточину</li> <li>3. Протерти та встановити кільце (дет. <math>a_7</math>)</li> <li>4. Встановити стопорне кільце (дет. <math>a_3</math>)</li> </ol>
3	Встановлення кришки	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закріпити маточину (<math>S_1^1</math>) в пристрої</li> <li>2. Встановити кришку (дет. <math>a_1</math>)</li> <li>3. Закріпити кришку гвинтами (дет. <math>a_2</math>)</li> </ol>

### Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи має містити наступні складові:

1. Номер, назва, мета роботи.
2. Ескіз складальної одиниці із зазначенням номерів деталей.
3. Структурна схема декомпозиції виробу.
4. Обґрунтування вибору базових деталей на кожному рівні декомпозиції.
5. Аналіз з'єднань деталей виробу.
6. Маршрутний технологічний процес складання (ТПС) у виді табл. 2
7. Опис задач, які студент особисто вирішував при виконанні роботи.
8. Інформацію про виконавців роботи.

Таблиця 4. Представлення маршрутного ТПС

№	Найменування операції	Зміст операції	Час виконання складання, сек	Пристрої, інструмент

## Лабораторна робота № 3

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ТОЧНОСТІ СКЛАДАННЯ  
МЕТОДОМ ПОВНОЇ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ

**Мета роботи:** здобуття практичних навичок розрахунку лінійного розмірного ланцюга при забезпеченні точності складання методом повної взаємозамінності.

## Теоретичні відомості

Відносне положення виконавчих поверхонь виробів визначається розмірами певної кількості деталей (рис. 1). Такий вид зв'язку деталей називається *розмірним зв'язком*.

*Розмірним ланцюгом* називають сукупність розмірів, які безпосередньо беруть участь у вирішенні поставленої задачі і утворюють замкнений контур (рис 2). *Ланками* розмірного ланцюга називаються розміри, що становлять розмірний ланцюг.

*Початковою* або *закриваючою ланкою* розмірного ланцюга називається ланка, яка безпосередньо зв'язує поверхні або осі деталей, відносно розташування яких необхідно забезпечити або виміряти. Інші ланки ланцюга називаються *складовими*.

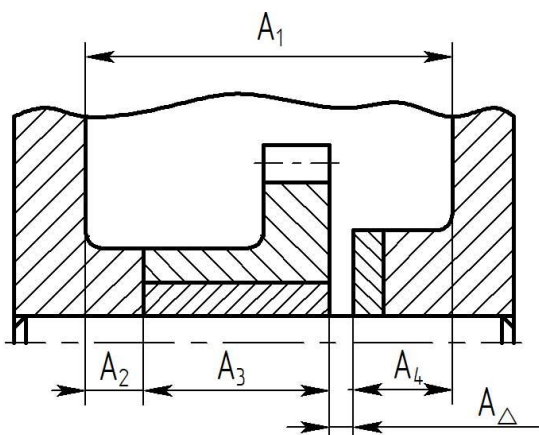


Рис. 1 Ескіз складальної одиниці

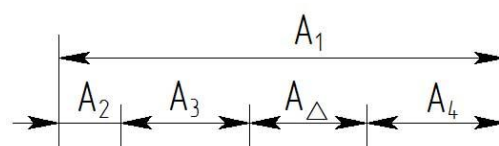


Рис. 2 Розмірний ланцюг

Складові ланки, при збільшенні яких збільшується закриваюча ланка, називають такими, що збільшують (позначають  $\vec{A}_1$ ).

Складові ланки, при збільшенні яких замикаюча ланка зменшується, називається такими, що зменшують (позначають  $\overleftarrow{A}_2$ ).

Правильно складений розмірний ланцюг повинен мати:

- мінімум ланок;
- замкнутий контур;
- при уявному розбиранні ланки повинні зберігатися як розміри конкретних деталей.

Існують наступні методи досягнення заданої точності початкової ланки (рішення розмірних ланцюгів):

- Метод повної взаємозамінюваності (максимуму - мінімуму).
- Теоретико-імовірнісний метод.
- Метод групової взаємозамінюваності.
- Метод регулювання.
- Метод пригону.

За інших рівних умов рекомендується в першу чергу вибирати такі методи рішення розмірних ланцюгів, при яких складання виконується без підбору, пригону і регулювання, тобто методи повної взаємозамінюваності і імовірнісний.

Якщо застосування цих методів економічно недоцільне або технічно неможливе, слід перейти до використання одного з методів неповної взаємозамінюваності.

Для проведення розмірного аналізу окрім розмірної схеми необхідно скласти *рівняння розмірного ланцюга*, яке виходить з умови замкнутості. Якщо в розмірний ланцюг входить  $m$  збільшуючих ланок і  $n$  зменшуючих ланок, то рівняння лінійного розмірного ланцюга має вигляд:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A}_i - \sum_{i=1}^n \overleftarrow{A}_i \quad (1)$$

Розрахунок розмірних ланцюгів може бути використаний для вирішення двох задач:

1. **Пряма задача (проектний розрахунок)** – визначення допуску і граничних відхилень складових розмірів по заданим номінальним

розмірам усіх ланок ланцюга і заданим граничним розмірам початкової (замикаючої) ланки.

**2. Зворотна задача (перевірочний розрахунок)** – визначення номінального розміру і допуску замикаючої ланки по заданих номінальних розмірах і граничних відхиленнях складових ланок.

Вибір методу рішення розмірних ланцюгів.

При виборі методу розрахунку ланцюгів можна орієнтуватися на середню величину допуску складових ланок або середню міру точності (квалітет) складових ланок.

$$T_c A_j = \frac{TA_0}{m+n} \quad (2)$$

$$A = \frac{TA_0}{\sum_{j=1}^{m+n} i_j} = \frac{TA_0}{\sum_1^{m+n} (0,45\sqrt[3]{D_m} + 0,001D_m)} \quad (3)$$

### Метод повної взаємозамінності.

Деталі з'єднуються при складанні без додаткових операцій. Значення замикаючої ланки не виходять за встановлені межі. Розрахунок розмірного ланцюга робиться методом максимуму - мінімуму.

Перевагами методу є простота і економічність складання; спрощення організації потокового складального процесу; можливість широкої кооперації. Недоліком є те, що допуски складових ланок виходять найменшими з усіх методів, що може виявитися недоцільним з економічної точки зору.

Після складання рівняння розмірного ланцюга (1) і рішення його відносно  $A_0$  можна визначити граничні розміри замикаючої ланки:

$$A_0^{\max} = \sum_{j=1}^m \overrightarrow{A_j^{\max}} - \sum_{j=1}^n \overleftarrow{A_j^{\min}} \quad (4)$$

$$A_0^{\min} = \sum_{j=1}^m \overleftarrow{A_j^{\min}} - \sum_{j=1}^n \overrightarrow{A_j^{\max}} \quad (5)$$

Віднімаючи почленно з (4) вираз (5) отримаємо формулу для визначення допуску замикаючої ланки :

$$TA_0 = \sum_{j=1}^m T\overline{A}_j + \sum_{j=1}^m T\overline{A}_j \quad (6)$$

$$TA_0 = \sum_{j=1}^{m+n} TA_j \quad (7)$$

З формули (7) можна зробити наступні висновки:

1. Точність замикаючої ланки збільшується із зменшенням допусків складових ланок.
2. Скорочення числа ланок призводить до підвищення точності замикаючої ланки.
3. Скорочення числа ланок призводить до зменшення вартості виготовлення, так як при незмінній величині допуску на замикаючу ланки допуски на складові ланки можуть бути розширені.

Якщо з рівнянь (4) і (5) відняти послідовно рівняння (1), отримаємо вирази для визначення граничних відхилень замикаючої (початкової) ланки:

$$ES(A_0) = \sum_{i=1}^m ES(\overline{A}_i) - \sum_{i=1}^n EI(\overline{A}_i) \quad (8)$$

$$EI(A_0) = \sum_{i=1}^m EI(\overline{A}_i) - \sum_{i=1}^n ES(\overline{A}_i) \quad (9)$$

При розрахунку розмірних ланцюгів часто виявляється зручним оперувати не граничними відхиленнями  $ES$  і  $EI$ , а середніми відхиленнями  $E_c$

$$E_c = \frac{ES + EI}{2} \quad (10)$$

Склавши почленно рівняння (8) і (9) і враховуючи (10) отримаємо середнє відхилення поля допуску замикаючої ланки.

$$E_c(A_0) = \sum_{i=1}^m E_c(\overline{A}_i) - \sum_{i=1}^n E_c(\overline{A}_i) \quad (11)$$

### Рішення прямої задачі.

Таке завдання зустрічається набагато частіше. Кінцева мета розрахунку допусків складових розмірів при заданій точності складання (заданому допуску початкової ланки) – забезпечити виконання машиною її функціонального призначення. Цю задачу можна вирішувати одним з наступних способів.

### Спосіб рівних допусків.

Застосовується, якщо складові розміри входять в один інтервал розмірів і можуть бути виконані з приблизно однаковою економічною точністю [4].

Допуски усіх складових ланок приймаються однаковими.

$$TA_1 = TA_2 = \dots = TA_{m+n} = T_{cp} A_i \quad (12)$$

Використовуючи рівняння (7) і (12) отримаємо вираз (2):

$$TA_0 = (m+n)T_{cp} A_i$$

$$T_{cp} A_i = \frac{TA_0}{m+n} \quad (2)$$

Отриманий середній допуск  $T_{cp} A_i$  коригують для усіх або деяких складових ланок в залежності від їх номінальних розмірів, технологічних можливостей виготовлення, конструктивних вимог. При цьому має виконуватись умова:

$$TA_0 \geq \sum_{i=1}^{m+n} TA_i \quad (13)$$

При цьому вибирають стандартні поля допусків бажано переважного застосування.

Спосіб рівних допусків простий, але недостатньо точний, оскільки коригування допусків довільне. Його можна рекомендувати для попереднього призначення допусків складових розмірів.

### Спосіб допусків одного квалітету.

Застосовується, якщо усі складові розміри можуть бути виконані з допуском одного квалітету і допуски складових розмірів залежать від їх номінального значення.

Відомі номінальні розміри усіх ланок і граничні відхилення початкової (замикаючої) ланки.

Необхідний квалітет визначають таким чином:

Допуск складового розміру:  $TA_i = a_i i_i$ , де  $i = 0,45\sqrt[3]{D_m} + 0,001D_m$

Використовуючи формулу (7):

$$TA_0 = a_1 i_1 + a_2 i_2 + \dots + a_{m+n} \cdot i_{m+n}$$

З умовою  $a_1 = a_2 = \dots = a_{cp}$ , отже

$$TA_0 = a_{cp} \sum_{i=1}^{m+n} i_i$$

Звідки отримуємо формулу (3):

$$a_{cp} = \frac{TA_0}{\sum_{j=1}^{m+n} i_j} \quad (3)$$

За значенням  $a_{cp}$  обирають найближчий квалітет. Після знаходження по таблицях ГОСТ 25347-82 допусків складових розмірів, коригують їх значення. Допуски для розмірів, що охоплюють, рекомендується визначати як для основного отвору, а для охоплюваних – як для основного валу. При цьому повинна дотримуватися умова (13). У тому випадку, якщо умова не виконується, одна з ланок приймається в якості регулюючої ланки і на розмір цієї ланки встановлюється квалітет точності менше прийнятого для усіх інших ланок. Потім робиться повторна перевірка.



Після знаходження допусків  $TA_1, TA_2, \dots, TA_{m+n}$  за заданими відхиленнями  $ES(A_0)$  и  $EI(A_0)$  визначають значення і знаки верхніх і нижніх відхилень складових розмірів так, щоб вони задовольняли рівнянням (8) і (9).

Таблиця 1

Інтервал розмірів, мм	До 3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250	250-315	315-400	400-500
Значення одиниці допуску, $i$ , мкм	0,55	0,73	0,90	1,08	1,31	1,56	1,86	2,17	2,52	2,90	3,23	3,54	3,89

Таблиця 2

Квалітет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Кількість одиниць допуску, $a$	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600

### Порядок виконання роботи

1. Для розмірного ланцюга визначити номінальне значення, допуск і граничні відхилення замикаючої ланки. Початкові дані для розрахунку вибрати у відповідності до варіанту.

2. Для цього ж розмірного ланцюга за номінальними розмірами складових ланок і граничним відхиленням розміру початкової ланки визначити граничні відхилення і допуски розмірів складових ланок.

### Зміст звіту

1. Номер, назва, мета роботи.
2. Схема розмірного ланцюга, початкові дані.
3. Рішення зворотної і прямої задачі.
4. Висновки.
5. Відомості про виконавця роботи.

## Лабораторна робота № 4

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ТОЧНОСТІ СКЛАДАННЯ  
МЕТОДОМ НЕПОВНОЇ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ

**Мета роботи:** здобуття практичних навичок розрахунку лінійного розмірного ланцюга при забезпеченні точності складання методом неповної взаємозамінності.

**Теоретичні відомості**

При забезпеченні точності замикаючої ланки методом неповної взаємозамінності деталі з'єднуються при складанні, як правило, без пригону, регулювання, підбору, при цьому у невеликої (заздалегідь прийнятої) кількості виробів (звичайний 3 вироби на 1000, відсоток ризику 0,27) значення замикаючих ланок можуть вийти за встановлені межі. Розрахунок розмірного ланцюга робиться імовірнісним методом.

Переваги ті ж, що і у методу повної взаємозамінюваності плюс економічність виготовлення деталей за рахунок розширених полів допусків (в порівнянні з попереднім методом).

Недоліком є можливі, хоча і маловірогідні, додаткові витрати на заміну або підгонку деяких деталей.

Застосовується метод у серійному і масових виробництвах; при малому допуску початкової ланки і великому числі складових ланок.

Розрахунок розмірних ланцюгів теоретико - імовірнісним методом.

Цей метод базується на основних залежностях методу максимуму - мінімуму. Проте він враховує більш реальний розподіл розмірів в межах поля допуску. У теорії розмірних ланцюгів найчастіше застосовуються наступні основні закони розсіювання розмірів деталей:

- а) нормальний закон (закон Гауса), позначення  $\Omega$ ;
- б) закон трикутника (закон Сімсона), позначення  $\Delta$ ;
- в) закон рівної вірогідності, позначення  $\square$ .

Рівняння для визначення допуску замикаючої (початкової) ланки при розрахунку ТІМ набуває виду:

$$TA_0 = t \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} \lambda_j^2 (TA_j)^2} \quad (3.1)$$

де  $\lambda_i$  - коефіцієнт відносного розсіювання, що залежить від закону розсіювання.

При розрахунках коефіцієнт  $\lambda_i$  приймають рівним:

$\lambda_j = \frac{1}{\sqrt{3}} (\lambda_j^2) = \frac{1}{3}$ , якщо нічого не відомо про характер кривої розсіювання розмірів деталей (дрібносерійне та індивідуальне виробництво);

$\lambda_j = \frac{1}{\sqrt{6}} (\lambda_j^2) = \frac{1}{6}$ , якщо передбачається, що розсіювання розмірів деталей близьке до закону трикутника;

$\lambda_j = \frac{1}{\sqrt{9}} (\lambda_j^2 = \frac{1}{9})$ , якщо крива розсіювання має нормальний характер (великосерійне і масове виробництво)

$t$  - коефіцієнт, залежний від % ризику  $P$ , що приймається за таблицею.

P, %	0,01	0,05	0,1	0,27	0,5	1	2	3	5	10	32
t	3,89	3,48	3,29	3	2,81	2,57	2,32	2,17	1,96	1,65	1

*Пряма задача* також може бути вирішена способом рівних допусків і способом одного квалітету.

*Спосіб рівних допусків* застосовують, якщо декілька складових ланок мають однаковий порядок і можуть бути виконані з приблизно однаковою точністю.

$$TA_j = \frac{TA_0}{t \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} \lambda_j^2}}$$

Розрахункові значення допусків округлюють до стандартних. Якщо не виконується нерівність

$$TA_0 \geq t \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} \lambda_j^2 (TA_j)^2}$$

в межах 10 %, то один з допусків коригують.

Спосіб допусків одного квалітету застосовується, якщо розміри усіх складових ланок розмірного ланцюга можуть бути виконані з допусками одного квалітету точності.

Вирішення задачі аналогічно рішенню методом повної взаємозамінюваності.

$$TA_j = a_j (0,45\sqrt{A_j} + 0,001A_j)$$

$$a_{cp} = \frac{TA_0}{t \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} \lambda_j^2 i^2}}$$

Після призначення допусків за розрахованим квалітетом перевіряють виконання умови

$$TA_0 \geq t \sqrt{\sum_{j=1}^{m+n} \lambda_j^2 (TA_j)^2}$$

### Порядок виконання роботи

1. Для розмірного ланцюга визначити номінальне значення, допуск і граничні відхилення замикаючої ланки, початкові дані номінальних розмірів і граничних відхилень обираються відповідно до варіанту. Відсоток ризику дорівнює 1.

2. Для цього ж розмірного ланцюга по номінальних розмірах складових ланок і граничних відхилень розміру початкової ланки визначити граничні відхилення і допуски розмірів складових ланок.

### Зміст звіту

1. Номер, назва, мета роботи.
2. Схема розмірного ланцюга, початкові дані.
3. Рішення зворотної і прямої задачі.
4. Висновки.
5. Відомості про виконавця роботи.

## Лабораторна робота № 5

НОРМУВАННЯ СКЛАДАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ ТА АНАЛІЗ  
ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ВИРОБУ

**Мета роботи:** здобуття практичних навичок нормування складальних операцій та аналізу технологічності виробу.

## Теоретичні відомості

Робота в *DFA Expert* починається з формування структури виробу. Складальний виріб описується за допомогою *дерева складання*, елементами якого є *деталі* та *складальні операції*. Ієрархія компонентів складального виробу відповідає його технологічній декомпозиції та послідовності розкладання. Поруч із деревом складання відображаються економічні показники та *технологічна послідовність складання* (ТПС) (рис. 12).

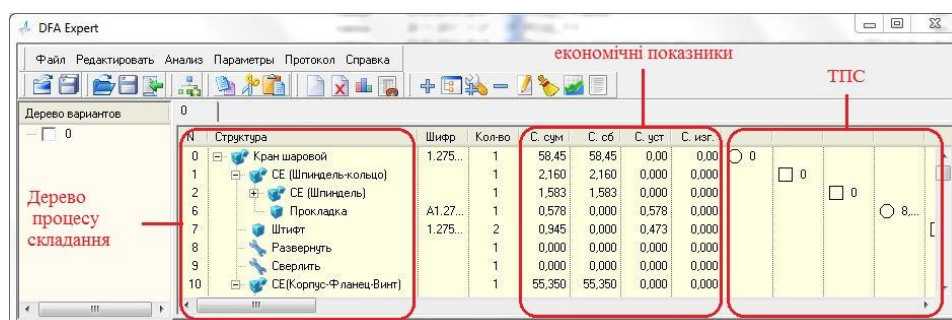


Рис. 12. Структурні елементи головного інтерфейсу *DFA Expert*

Початкова структура виробу та послідовність його складання утворюють базове *конструкторсько-технологічне рішення* (КТР). На основі базового можуть створюватись нові КТР. Множина КТР описується деревом, коренем якого є базове  $КТР_0$  (початкова конструкція), а вузлами – усі інші КТР, ребра відображають послідовність створення КТР.


Дерево КТР відображається в лівому куті основного вікна (рис. 12).










При відкритті програми автоматично створюється новий *проект*. Кожен проект містить принаймні одне конструкторсько-технологічне рішення виробу.

Інформація про базове КТР може бути введена вручну або за допомогою операції імпорту. Розглянемо обидва способи.

## Формування структури складального виробу в ручному режимі

При формуванні структури виробу в ручному режимі починати необхідно з введення найменування готового виробу. Далі необхідно додавати деталі та складальні одиниці в порядку розкладання виробу.

Для формування структури СВ в ручному режимі використовуються наступна панель команд , в якій:

- Додати деталь: «*Редактирование/Добавить деталь*», *Ins* або кнопка з іконкою .
- Додати деталь наступного рівня декомпозиції: «*Редактирование/Добавить деталь в подборку*», *Ctrl+Ins* або кнопка з іконкою .
- Додати операцію: «*Редактирование/Добавить операцию*», *Shift+Ins* або кнопка з іконкою .
- Видалити деталь (операцію): «*Редактирование/Удалить деталь*», *Ctrl+Del* або кнопка з іконкою .
- Редагувати параметри деталі (операції): «*Редактирование/Редактировать...*», подвійне натискання лівої кнопки миші на необхідній деталі або кнопка з іконкою .
- Очистити КТР від усіх даних: «*Редактирование/Очистить дерево*», *Shift+Del* або кнопка з іконкою .
- Копіювати елемент дерева складання *Ctrl+C* або кнопка з іконкою .
- Вставити елемент дерева складання *Ctrl+V* або кнопка з іконкою .
- Вирізати елемент дерева складання *Ctrl+X* або кнопка з іконкою .

Для кожного елемента СВ мають бути визначені конструкторські та технологічні характеристики, які задаються та редагуються в окремому вікні (рис. 14).

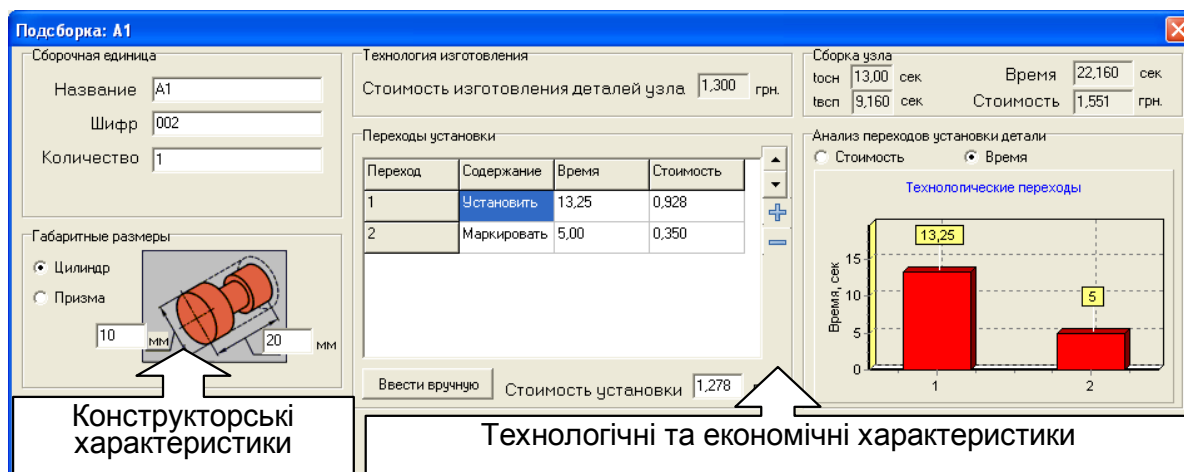


Рис. 14 Конструкторські, технологічні та економічні характеристики елементів СВ

Розрахунок часу виконання являє собою експертний розрахунок сумарного впливу двох складових (рис. 15).

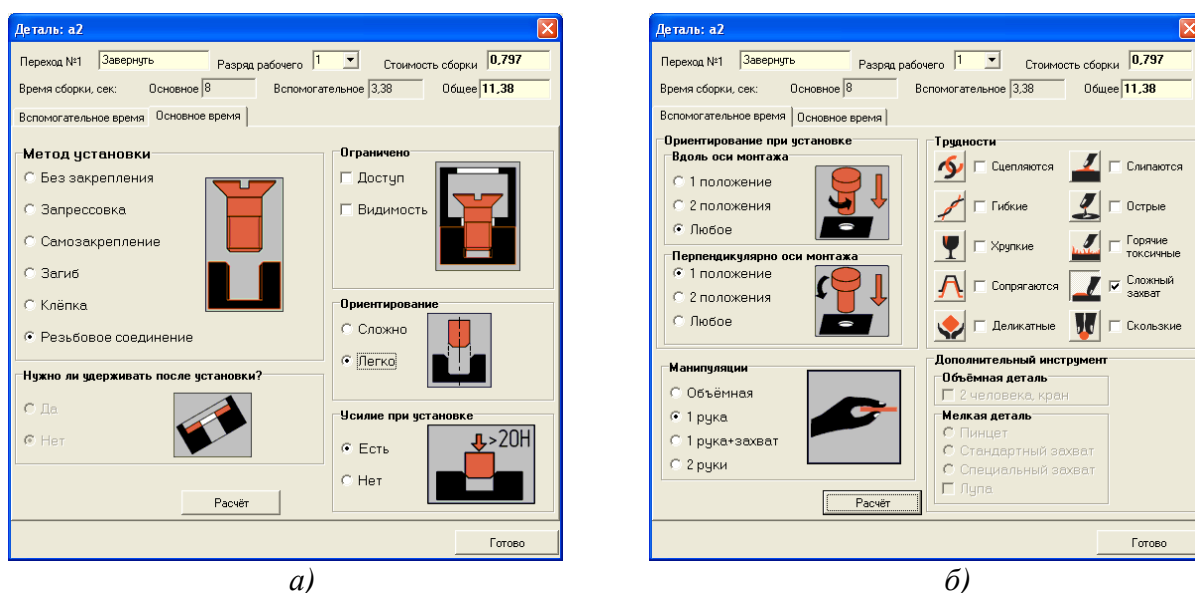



Рис. 15 Интерфейс для расчета основного (а) та допоміжного (б) часу на реалізацію технологічного переходу складання

Перша складова – основний час, що визначається з урахуванням методу реалізації з'єднання, наявності обмежень доступу, складності орієнтування та утримання елементів, енергетичних витрат. Друга складова – допоміжний час, що визначається з урахуванням орієнтування та маніпулювання, технологічних ускладнень, пов'язаних зі зчеплюваністю, гнучкістю, крихкістю елементів тощо.

Вартість встановлення кожної деталі та складальної одиниці (СО) у СВ розраховується на основі визначеного часу виконання операцій та розрядної сітки, яка задається в глобальних налаштуваннях проекту. Вартість виготовлення деталі вводиться вручну. За допомогою отриманих економічних показників виявляються найбільш трудомісткі з точки зору складання деталі, на які обов'язково потрібно звернути увагу. Виклик діаграми розподілу витрат по операціям (рис. 16) виконується через пункт меню «Анализ / Структура затрат» або за допомогою кнопки з піктограмою .

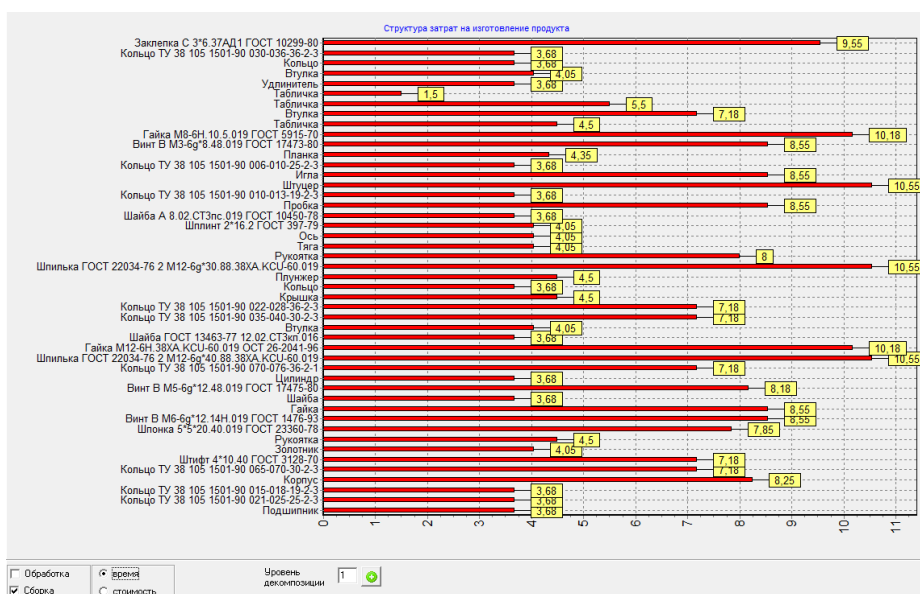


Рис. 16. Розподіл часу виконання технологічних операцій процесу складання

## Налаштування параметрів для розрахунку витрат на заробітну плату робітників

Параметри вартості оплати робочого часу налаштовуються після виклику пункту меню «Параметры/Настройка...» і являють собою розрядну сітку (рис. 17). Необхідно вказати тривалість робочого дня та кількість робочих днів у місяці. Існує можливість введення вартості оплати години, дня або місяця роботи. Після редагування окремої чарунки рядок перераховується автоматично.



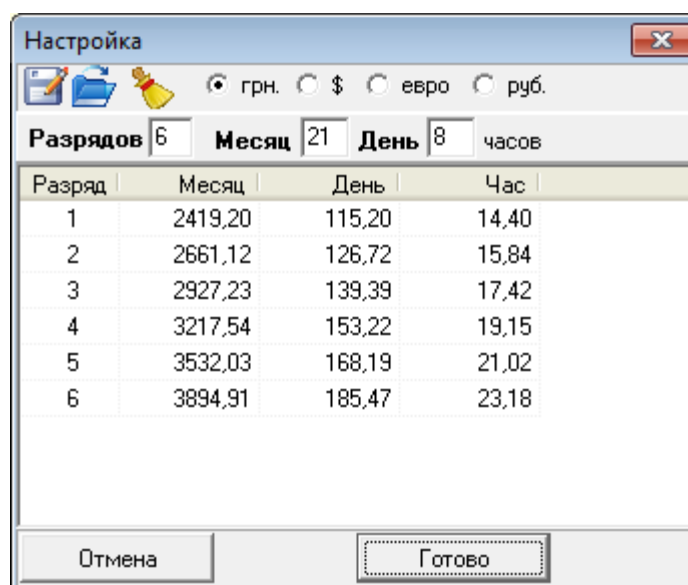





Рис. 17. Налаштування параметрів оплати праці


### Робота з проектом

*Збереження КТР* виконується за допомогою виклику пункту меню «Файл/Сохранить вариант», *Ctrl+S* або натисканням кнопки з іконкою .

Розширення файлу «.vt». При збереженні проекту усі КТР зберігаються автоматично.


*Відкриття КТР* виконується за допомогою пункту меню «Файл/Открыть вариант», (*Ctrl+O*) або натисканням кнопки з іконкою . Фактично вміст файлу, що відкривається, завантажується у активний на даний момент КТР, тому усі дані, що не були збережені, буде втрачено.

*Видалення КТР* виконується за допомогою пункту меню «Редактировать/Удалить вариант» або натисканням кнопки з іконкою . Якщо існують рішення, для яких КТР, що видаляється, є базовим, вони будуть видалені разом з ним.

Для *збереження проекту* обираємо пункт меню «Файл/Сохранить проект», *F11* або натискаємо кнопку з іконкою . Проект зберігається у вигляді набору файлів, при збереженні вказується лише назва проекту. Файл проекту має розширення «.dfar»

Кожне КТР зберігається в окремому файлі, файли отримують назву, яка відповідає шифру КТР з розширенням «.vt». Якщо файл, який відповідає одному з КТР, буде видалено або переміщено проект не завантажиться та програма сповістить про помилку відкриття проекту.

Зберігати проект рекомендується в окрему папку.

Відкриття проекту виконується вибором пункту меню «Файл/Открыть проект» або натисканням кнопки з піктограмою , необхідно обрати файл з розширенням «.dfap».

### Зміст звіту

1. Структура виробу у виді скріншоту основного вікна програми.
2. Приклад формування конструкторських та технологічних характеристик деталі у виді скріншотів відповідних вікон з поясненнями.
3. Приклад формування конструкторських та технологічних характеристик складальної одиниці у виді скріншотів відповідних вікон з поясненнями.
4. Структура часових витрат на операції складання базового КТР у виді скріншоту.
5. Пропозиції по скороченню часу складання.
6. Протокол послідовності складання .
7. Висновки по роботі.

## Лабораторна робота № 6

ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧОГО ЦИКЛУ  
ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ У ЧАСІ

**Мета роботи:** набуття навичок визначення тривалості виробничого циклу складального процесу та його організації у часі.

**Теоретичні відомості**

Оперативний час виконання  $i$ -ої складальної операції визначається за формулою [5]

$$t_{опi} = \frac{t_n}{P_{скл} \cdot K_B},$$

де  $t_n$  – трудомісткість виконуваної операції, *нормо-год.*;  $P_{скл}$  - кількість робітників, одночасно зайнятих виконанням цієї операції;  $K_B$  - коефіцієнт виконання норм часу.

Мінімальний розмір партії виробів, складання яких виконується на ділянці, визначається за формулою

$$n_{min} = \frac{(100 - a_{об}) \sum_{i=1}^m t_{п.з.i}}{a_{об} \cdot \sum_{i=1}^m t_i},$$

де  $t_{п.з.i}$  – підготовчо-заключний час на операції складання, *хв.*;  $a_{об}$  – відсоток допустимих втрат робочого часу на переналадку і ремонт робочих місць.

Розрахунок режиму (період чергувань) партій виробів здійснюється за формулою

$$R_p = \frac{D \cdot n_{min}}{N_M},$$

де  $D$  – кількість робочих днів в місяці;  $N_M$  – місячна програма виготовлення виробів, шт.

Розрахунок оптимального розміру партії виробів здійснюється за формулою

$$n_0 = R_y \cdot \frac{N_M}{D},$$

де  $R_y$  – ритм, який зручно планувати, (якщо в місяці 21 робочий день, то вибирається найближчий з дільників числа 21, тобто з чисел 21, 7, 3, 1. Наприклад, якщо  $R_p = 2,5$ , то  $R_y = 3$ ).

При цьому повинні виконуватись наступні умови:

- 1) місячна програма кратна оптимальному розміру партії;
- 2) оптимальний розмір партії виробів задовольняє вимозі

$$n_{min} < n_0 < N_m.$$

Тривалість операційного циклу партії виробів на операції визначається за формулою

$$t_{опi} = \frac{t'_i \cdot n_0 + t_{п.з.i}}{60},$$

де  $t'_i$  – норма штучного часу на операції з урахуванням коефіцієнта виконання норм, хв.

Тривалість операційного циклу партії виробів по складальних одиницях визначається за формулою

$$t_{CO} = \sum_{i=1}^K t_{опi},$$

де  $K$  – кількість операцій, які виконуються при складанні складальної одиниці.

Розрахунок необхідної кількості робочих місць для складання виробів здійснюється за формулою

$$C = \frac{\sum_{i=1}^m t_{опi}}{R_y}.$$

### Приклад розрахунку

#### Завдання

На дільниці виконується складання виробу  $A$ . Перелік операцій та їх тривалість наведені у табл. 5. Місячна програма випуску виробів складає 700 шт. Кількість робочих днів у місяці – 21. Режим роботи складальної дільниці – двозмінний. Тривалість зміни – 8 год. Час на планові ремонти і

переналадку робочих місць складає 2 %. Технологічна декомпозиція виробу наведена на рис.

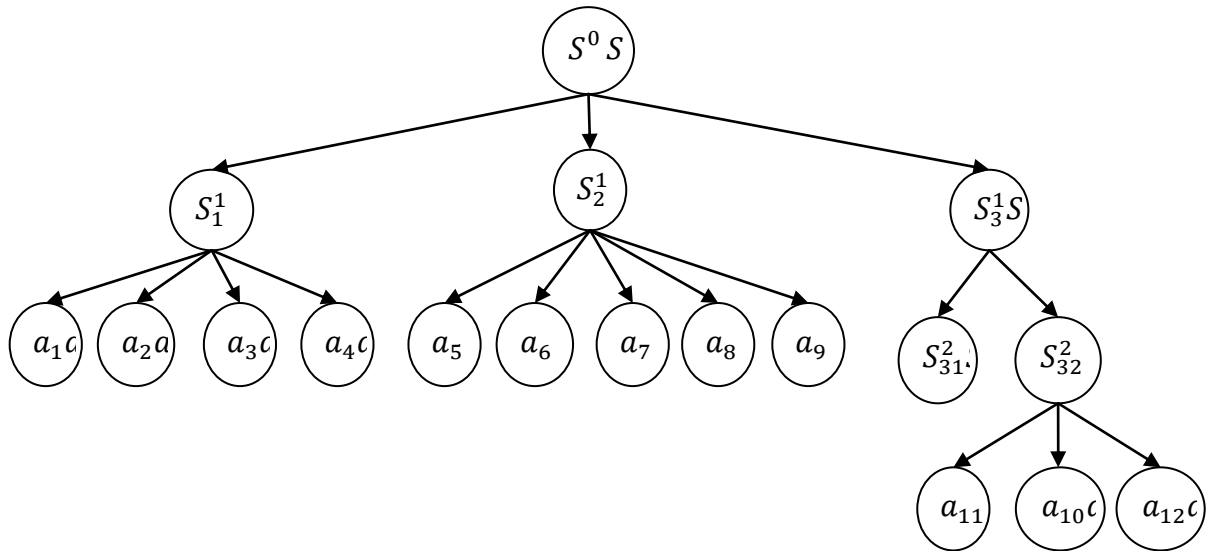


Рис. Схема декомпозиції виробу А

Таблиця 5. Перелік операцій складання виробу А

СО	№ операції	$t_i$ , хв.	$K_B$	$t'_i$ , хв.	$t_{п.з.i}$ , хв.	Подання СО до операції №
$S^2_{31}$	1	5,0	1,06	4,7	10	6
	2	2,5	1,09	2,3	10	
$S^2_{32}$	3	8,0	1,13	7,1	10	6
	4	6,6	1,12	5,9	10	
	5	4,0	1,14	3,5	10	
$S^1_3$	6	5,0	1,06	4,7	10	20
$S^1_2$	7	4,0	1,14	3,5	10	18
	8	6,3	1,07	5,9	10	
	9	7,0	1,07	6,5	10	
	10	3,1	1,03	2,9	10	
	11	10,0	1,05	9,5	10	
	12	5,0	1,06	4,7	10	
$S^1_1$	13	2,5	1,09	2,3	10	17
	14	5,0	1,06	4,7	10	
	15	10,4	1,09	9,5	10	
	16	8,0	1,12	7,1	10	
$S^0$	17	12,0	1,06	11,3	10	
	18	5,0	1,06	4,7	10	

	19	3,1	1,07	2,9	10	
	20	10,0	1,05	9,5	10	
	Всього:	122,5	1,06	115,2	200	

Необхідно: визначити оптимальний розмір партії виробів; встановити ритм, який зручно планувати; визначити тривалість операційного циклу партії виробів по складальних одиницях; розрахувати необхідну кількість робочих місць; побудувати цикловий графік складання виробу А; закріпити операції за робочими місцями виходячи з коефіцієнта їх завантаження; побудувати цикловий графік складання виробу з урахуванням завантаження робочих місць; розрахувати випередження запуску-випуску складальних одиниць виробу; визначити тривалість виробничого циклу складання партії виробів.

### Розв'язок

Визначимо мінімальний розмір партії виробів А.

$$n_{min} = \frac{(100 - a_{об}) \sum_{i=1}^m t_{п.з.i}}{a_{об} \cdot \sum_{i=1}^m t_i} = \frac{(100 - 2) \cdot 200}{2 \cdot 122,5} = 80 \text{ шт.}$$

Розрахуємо режим (період чергувань) партій виробів

$$R_p = \frac{D \cdot n_{min}}{N_M} = \frac{21 \cdot 80}{700} = 2,4 \text{ дні}$$

Оскільки за умовою в місяці 21 робочий день, то ритм, який зручно планувати, обираємо з ряду 21, 7, 3, 1. Отже,  $R_y = 3$  дні.

Визначимо оптимальний розмір партії виробів.

$$n_0 = R_y \cdot \frac{N_M}{D} = 3 \cdot \frac{700}{21} = 100 \text{ шт.}$$

Перевіряємо умову  $n_{min} < n_0 < N_M$

$$80 < 100 < 700 - \text{умова виконується.}$$

Визначимо тривалість операційного циклу партії виробів по кожній операції. Наприклад, по першій операції тривалість циклу складає

$$t_{оп1} = \frac{t'_1 \cdot n_0 + t_{п.з.1}}{60} = \frac{4,7 \cdot 100 + 10}{60} = 8 \text{ год.}$$

Розрахуємо необхідну кількість робочих місць

$$C = \frac{\sum_{i=1}^m t_{опi}}{R_y} = \frac{192}{3} = 4 \text{ роб. місця.}$$

Отримані дані заносимо в табл. 6.

Таблиця 6. Тривалість операційних циклів

СО	№ операції	Тривалість операційного циклу партії виробів 100 шт., год		Подання СО до операції №
		по операціях	по СО	
$S_{31}^2$	1	8,0	12,0	6
	2	4,0		
$S_{32}^2$	3	12,0	28,0	6
	4	10,0		
	5	6,0		
$S_3^1$	6	8,0	8,0	20
$S_2^1$	7	6,0	56,0	18
	8	10,0		
	9	11,0		
	10	5,0		
	11	16,0		
	12	8,0		
$S_1^1$	13	4,0	40	17
	14	8,0		
	15	16,0		
	16	12,0		
$S^0$	17	19,0	48	
	18	8,0		
	19	5,0		
	20	16,0		

Всього:	192,0	192,0	
---------	-------	-------	--

Побудуємо цикловий графік складання виробу  $A$  без урахування завантаження робочих місць. Графік будується на підставі тривалості циклів складання кожної операції в порядку, зворотному ходу технологічного процесу – починаючи з останньої операції (рис. ).

Після побудови циклового графіку складання необхідно виконати закріплення операцій за робочими місцями. Для досягнення рівномірності завантаження робочих місць виконується закріплення за ними певних операцій. Для цього на кожне робоче місце набирається об'єм робіт, тривалість операційного циклу яких дорівнювала б прийнятому ритму (табл. 7).

Таблиця 7. Закріплення операцій за робочими місцями

№ роб. місця	№ операції	CO	Сумарна тривалість оп. циклу	Пропускна здатність роб. місця	Коефіцієнт завантаження роб. місця
IV	17, 18, 19, 20	$S^0$	48	48	1
III	12, 13, 14, 15, 16	$S_1^1, S_2^1$	48	48	1
II	7, 8, 9, 10, 11	$S_2^1$	48	48	1
I	1, 2, 3, 4, 5, 6	$S_3^1, S_{32}^2, S_{31}^2$	48	48	1

Побудуємо цикловий графік складання виробу  $A$  з урахуванням завантаження робочих місць (стандарт-план).

При побудові графіку з урахуванням завантаження робочих місць необхідно прагнути до того, щоб тривалість циклів окремих операцій графіку (мал. 2.2, а) була проекціями відповідні робочі місця графіку (мал. 2.2, б). В цьому випадку зберігається тривалість виробничого циклу графіку (мал. 2.2, а), побудованого без урахування завантаження робочих місць. Але здійснити це вдається не завжди. У нашому прикладі зрушені терміни початку виконання операцій 7, 8, 9, 10, 11, 12, 1, 2.

{...}



### Рекомендована література

1. Основы технологии сборки машин и механизмов / М. П. Новиков. – 5-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
3. Аверченков В.И. и др. Технология машиностроения: сборник задач и упражнений. – 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ИНФРА-М, 2006. — 288 с.
4. Попов Г.В. Лабораторный практикум по курсу «Технологические процессы в машиностроении»: Учеб. пособие / Г.В. Попов, А.А. Афанасьев, Л.И. Назина, А.А. Стасов. // Воронеж. гос. технол. акад.; – Воронеж, 2004. – 116 с.
5. Новицкий Н.И. Организация и планирование производства: Практикум / Н.И. Новицкий. – Мн.: Новое знание, 2004. – 256 с.