

искажений форм и шероховатости поверхности детали. Если обратить внимание на то, что нужный нам размер определяется по максимальным отклонениям шероховатости и геометрии, то это вызывает проблему качества изготовления детали. Так, например, деталь цилиндрической формы, измеренная в одном разрезе, еще не гарантирует того, что этот размер будет выдержан по всей длине цилиндра. Поэтому, цель работы, которая предлагается – это рассмотреть аспекты поведения поверхности детали на микро- и макроуровне панданной зоны в момент определения ее координат. Поэтому, в дальнейших исследованиях необходимо сосредоточиться на построении математических зависимостей относительно микро- и макропанданных зон, поскольку в классической физике и теории твердого тела полностью отсутствует понятие, что такое поверхность тела.

**Ключевые слова:** микро, макроповерхность детали, панданная зона.

#### **V. I. Skitsiouk**

*National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine*

#### **PANDANIC ZONE OF MICRO AND MACRO SURFACES OF THE TECHNOLOGICAL OBJECTS (Part 2)**

The peculiarity of pandanic zone is that it defines a real impact on the quality of the measurement of geometry of any technological object. This happens because of distortion of forms and surface roughness of detail. If we look to the fact that the right size is determined by the maximum deviation of roughness and geometry, that it causes a problem of quality manufacturing parts. For example, the cylindrical detail, measured in one section, does not guarantee that this size is maintained along the entire length of the cylinder. So, the purpose works this review aspect of the behavior of detail at the micro and macro level of the pandanic zone at the time to determine its origin. So, further research should will focus on the construction of the mathematical dependence of micro and macro pandanic zones, because in the classical physics and in the solid state theory is completely missing the concept what is the surface of the body.

**Keywords:** micro, macro surfaces detail, pandanic zone.

*Надійшла до редакції  
05 липня 2011 року*

УДК 658.512:658.52.011.56

### **ФОРМУВАННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ СКЛАДАННЯ ВИРОБУ ЗГІДНО МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПИСУ ВИРОБУ ТА ОЦІНКА ЇЇ ЕФЕКТИВНОСТІ**

*Стельмах Н. В.*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
м. Київ, Україна*

*Розглянуто приклад формування послідовності складання виробу згідно плану надходження комплектів деталей на складання з метою забезпечення прискореного випуску нового виробу і зниження собівартості виконання складально-випробувальних і контрольно-вимірjuвальних робіт в малосерійному виробництві. Отримана послідовність операцій складання та розподіл між робочими місцями характеризується відсутністю затримок під час виконання операцій та максимально можливим завантаженням робочих місць, мінімальним членуванням гілок складального виробу, що в подальшій перспективі дозволить розробити новий підхід, де б враховувалась кваліфікація робітника-складальника, що могло б суттєво зменшити собівартість виготовлення продукції.*

**Ключові слова:** опис структури виробу, трудомісткість складання, цикл випуску.

### **Вступ**

Процес складання є кінцевим етапом виготовлення виробів. В даний час у машинобудуванні і приладобудуванні накопичений певний досвід в області автоматизації технологічного підготовки складального виробництва, особливо за кордоном. Але більшість з них орієнтовані на застосування у машинобудуванні, тобто вкрай обмежено враховують специфіку виконання складальних, регулювальних налагоджувальних робіт, випробувань, що є характерними для приладобудування [1, 2].

Продуктивність складальних робіт в приладобудуванні визначається трудомісткістю або випуском продукції. При цьому необхідно враховувати те, що як показує статистика приладобудівних виробництв, вагома частка трудомісткості слюсарно-складальних робіт значно менша ніж трудомісткість регулювально-налагоджувальних і доводочних робіт, технічне нормування яких завжди є наближеним через складність цих процедур. Окрім того, у великосерійному виробництві приладів майже всі нормативи слюсарно-складальних робіт відомі, тоді як в малосерійному виробництві при запуску нового виробу з цим є певні труднощі, оскільки наперед невідомі особливості ТПС, специфіка регулювально-налагоджувальних, доводочних робіт та випробувань, а також перелік необхідного обладнання для проведення всього комплексу робіт і контролю точності та надійності роботи приладу [2].

**Метою роботи** є формування послідовності складання виробу згідно плану надходження комплектів деталей на складання з метою забезпечення прискореного випуску нового виробу і зниження собівартості виконання складально-випробувальних і контрольно-вимірювальних робіт та раціонального завантаження робочих місць у малосерійному виробництві.

### **Виклад основного матеріалу**

Нехай маємо виріб, який умовно можна розкласти на 15 складальних одиниць, його ієрархічну структуру можна зобразити у вигляді графа (рис. 1). Згідно запропонованої моделі формування структури виробу за трудомісткістю виготовлення СО вже визначена найбільш трудомістка СО і сформований план пріоритетності виготовлення деталей для СО за результатами ранжирування. Тобто для кожної з 15-ти СО відома трудомісткість її виготовлення та черга надходження комплекту деталей на складання.

Розглянемо приклад формування порядку складання СО згідно плану надходження комплектів деталей на складання забезпечивши при цьому раціональне завантаження робочих місць складальників.

Для вирішення поставленого завдання введемо наступні поняття:

$T_{CO}$  - трудомісткість складання СО в хв.;  $\max_d T_{\max\_ст}$  - максимально допустимий час початку складання СО в хв.;  $\min_d T_{\min\_ст}$  - мінімально допустимий час початку складання СО в хв.;  $T_{рез}$  - резервний (вільний) час до початку складання

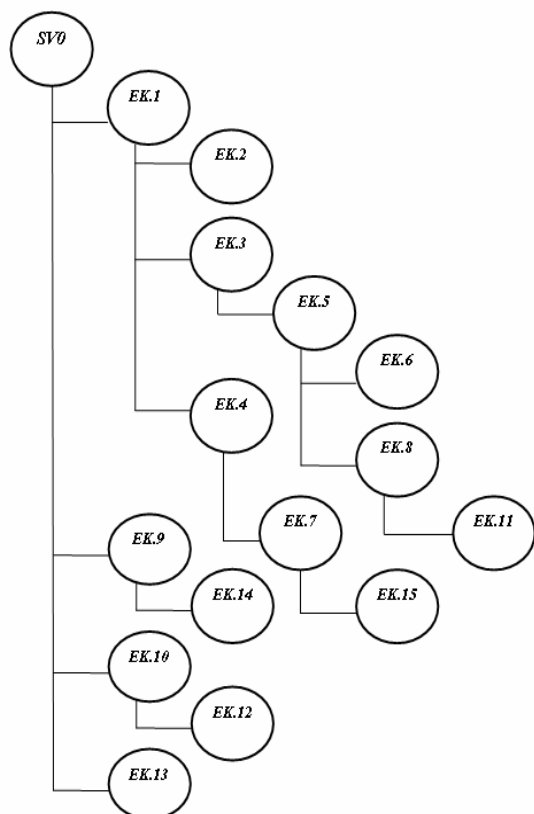


Рис. 1. Ієрархічна структура виробу у вигляді графа.

СО в хв.;  $T_{\text{Ц}}$  - максимальний цикл складання СО в хв.;  $T_{\Sigma \text{CO}}$  - трудомісткість складових СО;  $T_{\Sigma \text{CO}'}$  - трудомісткість складових, до яких входить дана СО в хв.;  $T_{\text{COmax}}$  - максимальна трудомісткість СО (з урахуванням трудомісткості її складових) серед всіх СО виробу в хв.

Структуру виробу можна описати аналітично у вигляді математичної моделі опису структури елементів виробу з урахуванням часових показників при його складанні (табл. 1) [4].

Для виконання розрахунків використаємо наступні формули:

$$T_{\text{Ц}} = T_{\text{COmax}}, \quad (1)$$

$$\min T_{\text{CT}} = T_{\Sigma \text{CO}}, \quad (2)$$

$$T_{\text{рез}} = T_{\text{Ц}} - T_{\Sigma \text{CO}} - T_{\Sigma \text{CO}'}, \quad (3)$$

$$\max T_{\text{CT}} = \min T_{\text{CT}} + T_{\text{рез}}. \quad (4)$$

Таблиця 1. Модель опису структури елементів виробу з урахуванням часових показників при його складанні

Назва СО	Кількість СО	In.v	$T_{\text{CO}}$ , хв.	max.д $T_{\text{max st}}$ , хв.	min.д $T_{\text{min st}}$ , хв.	$T_{\text{рез}}$ , хв.
Ek.1	1	0	14	0	0	0
Ek.2	1	1	14	79	14	65
Ek.3	1	1	15	14	14	0
Ek.4	1	1	7	58	14	44
Ek.5	1	3	13	29	29	0
Ek.6	1	5	5	88	42	46
Ek.7	1	4	12	65	21	44
Ek.8	1	5	22	42	42	0
Ek.9	1	0	29	25	0	25
Ek.10	1	0	18	54	0	54
Ek.11	1	8	29	64	64	0
Ek.12	1	10	21	72	18	54
Ek.13	1	0	31	62	0	62
Ek.14	1	9	39	54	29	25
Ek.15	1	7	16	77	33	44

Трудомісткість виготовлення окремої гілки виробу (рис. 1) можна обчислити:

$$T_{\sum CO} = \sum_{i=1}^n Ek^{T_{co}}, \quad (5)$$

де  $T_{\sum CO}$  - сумарна трудомісткість складання гілки виробу;  $Ek^{T_{co}}$  - трудомісткість виготовлення елемента конструкції;  $n$  – кількість СО, що утворюють гілку.

На рис 2. представлено трансформацію структури СВ в часові ланцюги, у вигляді  $Ek.N_2CO^T$ , де  $T$  – трудомісткість виготовлення СО в хв..

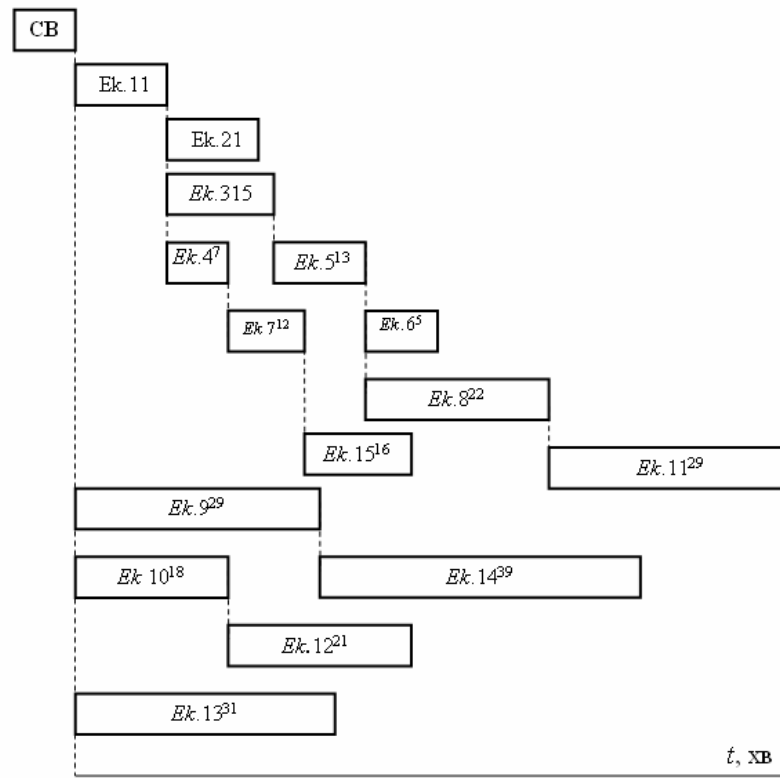


Рис. 2. Трансформація структури СВ в часові ланцюги.

Під час розподілу СО за РМ слід керуватись наступними правилами:

1) Гілка СВ, що має максимальне значення сумарної трудомісткості складається першою і визначає величину циклу складання всіх гілок виробу  $T_{Ц}$ .

2) Час складання всіх наступних гілок СВ не повинен перевищувати значення  $T_{Ц}$ , але може бути йому рівним.

3) Пріоритетним є розміщення на РМ цілої гілки СВ без її подрібнення на СО, які можуть збиратись на окремих РМ. Це дозволить скоротити час на загальному складанні гілки, бо не потребує перенесення СО з одного РМ на інше. Виокремивши гілки СВ з ієрархічної структури виробу у вигляді графа (рис 1), можна обчислити сумарну трудомісткість їх виготовлення (6) та її максимальне значення (7).

$$S_j = \sum_{i=1}^n T_{CO_i} \{i \in A_j\} \quad (6)$$

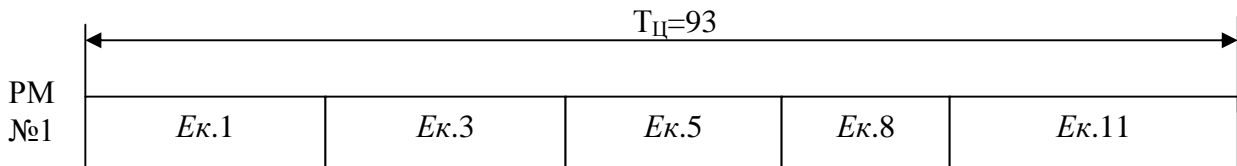
$$S \max_j^n = \max(S_j) \quad (7)$$

**Таблиця 2. Часові ланцюги гілок СВ виробу (ітерація №1)**

№ <i>j</i>	Складові елементи $A_j$	$S_j = \sum_{i=1}^n T_{COi}, \text{ хв}$ $\{i \in A_j\}$	$S \max_j^n = \max(S_j)$ хв.
1	$Ek.1^{14} \rightarrow Ek.2^{14}$	28	
2	$Ek.1^{14} \rightarrow Ek.3^{15} \rightarrow Ek.5^{13} \rightarrow Ek.6^5$	47	
3	$Ek.1^{14} \rightarrow Ek.3^{15} \rightarrow Ek.5^{13} \rightarrow Ek.8^{22} \rightarrow Ek.11^{29}$	93	+
4	$Ek.1^{14} \rightarrow Ek.4^7 \rightarrow Ek.7^{12} \rightarrow Ek.15^{16}$	49	
5	$Ek.9^{29} \rightarrow Ek.14^{39}$	68	
6	$Ek.10^{18} \rightarrow Ek.12^{21}$	39	
7	$Ek.13^{31}$	31	

Знайшовши значення максимальної трудомісткості серед гілок, визначимо  $T_{Ц}$  максимальний цикл складання СО в хв. У нашому випадку  $T_{Ц} = 93$ , отже першою в чергу на складання розміщуємо гілку № 2.

$$T_{Ц} = S_{\max j}^1. \quad (8)$$



Визначимо резервний час для РМ №1 –  $\Delta$ ,

$$\Delta_m = T_{Ц} - S_{\max j}^m, \quad (9)$$

де  $m$  – № робочого місця

$$\Delta_1 = T_{Ц} - S_{\max j}^1 = 93 - 93 = 0.$$

Знайдемо мінімально допустиме розрахункове значення кількості РМ

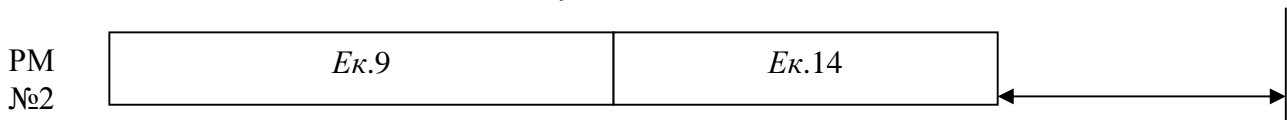
$$\min_{PM} = \text{trunc} \left( \frac{\sum_{i=1}^n T_{COi}}{T_{Ц}} \right) + 1. \quad (9)$$

У нашому випадку  $\sum_{i=1}^n T_{COi} = 355$  хв,  $T_{Ц} = 93$  хв,  $\min_{PM} = \text{trunc} \left( \frac{355}{93} \right) + 1 = 4$  РМ

Наступне максимальне значення трудомісткості  $S_{\max j}^2 = 68$  серед гілок, що залишились, відповідає гілці № 5 (табл. 3).

Визначимо резервний час для РМ №2 –  $\Delta_2$ ,

$$\Delta_2 = T_{Ц} - S_{\max j}^2 = 93 - 68 = 25 \text{ хв.}$$



Продовжуємо пошук максимального значення сумарної трудомісткості виготовлення СО серед гілок, що залишились  $S_{\max j}^3 = 39$  хв.

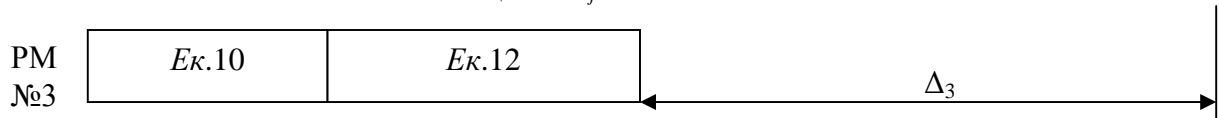
Таблиця 3. Часові ланцюги гілок СВ виробу (ітерація №2)

№ $j$	Складові елементи $A_j$	$S_j = \sum_{i=1}^n T_{CO_i}, \text{ хв.}$ $\{i \in A_j\}$	$S_{\max j}^n = \max(S_j)$ хв.
1	$Ek.2^{14}$	14	
2	$Ek.6^5$	5	
4	$Ek.4^7 \rightarrow Ek.7^{12} \rightarrow Ek.15^{16}$	35	
5	$Ek.9^{29} \rightarrow Ek.14^{39}$	68	+
6	$Ek.10^{18} \rightarrow Ek.12^{21}$	39	
7	$Ek.13^{31}$	31	

Таблиця 4. Часові ланцюги гілок СВ виробу (ітерація №3)

№ $j$	Складові елементи $A_j$	$S_j = \sum_{i=1}^n T_{CO_i}, \text{ хв.}$ $\{i \in A_j\}$	$S_{\max j}^n = \max(S_j)$ хв.
1	$Ek.2^{14}$	14	
2	$Ek.6^5$	5	
4	$Ek.4^7 \rightarrow Ek.7^{12} \rightarrow Ek.15^{16}$	35	
6	$Ek.10^{18} \rightarrow Ek.12^{21}$	39	+
7	$Ek.13^{31}$	31	

$$\Delta_3 = T_{Ц} - S_{\max j}^3 = 93 - 39 = 54 \text{ хв.}$$

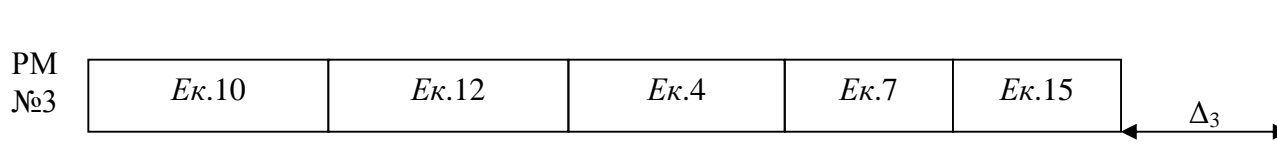


Таблиця 5. Часові ланцюги гілок СВ виробу (ітерація №4)

№ $j$	Складові елементи $A_j$	$S_j = \sum_{i=1}^n T_{CO_i}, \text{ хв.}$ $\{i \in A_j\}$	$S_{\max j}^n = \max(S_j)$ хв.
1	$Ek.2^{14}$	14	
2	$Ek.6^5$	5	
4	$Ek.4^7 \rightarrow Ek.7^{12} \rightarrow Ek.15^{16}$	35	+
7	$Ek.13^{31}$	31	

Максимальне значення сумарної трудомісткості  $S_{\max j}^4 = 35$  хв. і відповідає гілці СВ № 4. Оскільки  $S_{\max j}^4 = 35 < \Delta_3$ , то гілку № 4 можна поставити на РМ № 3.

$$\text{Тоді, } \Delta_3 = T_{\Pi} - S_{\max j}^3 - S_{\max j}^4 = 93 - 39 - 35 = 19 \text{ хв.}$$

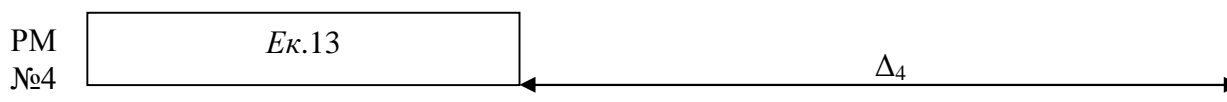


Таблиця 6. Часові ланцюги гілок СВ виробу (ітерація №5)

№ <i>j</i>	Складові елементи $A_j$	$S_j = \sum_{i=1}^n T_{CO_i}$ хв. $\{i \in A_j\}$	$S_{\max j}^n = \max(S_j)$ хв.
1	$Ek.2^{14}$	14	
2	$Ek.6^5$	5	
7	$Ek.13^{31}$	31	+

Максимальне значення сумарної трудомісткості  $S_{\max j}^5 = 31$  серед гілок, що залишились відповідає гілці № 7, яку розміщуємо на РМ №. 4

$$\Delta_4 = T_{\Pi} - S_{\max j}^5 = 93 - 31 = 62 \text{ хв.}$$

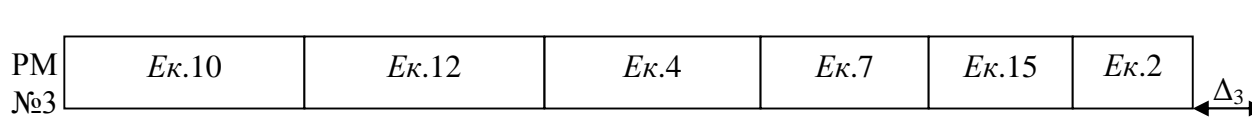


Таблиця 7. Часові ланцюги гілок СВ виробу (ітерація №6)

№ <i>j</i>	Складові елементи $A_j$	$S_j = \sum_{i=1}^n T_{CO_i}$ хв. $\{i \in A_j\}$	$S_{\max j}^n = \max(S_j)$ хв.
1	$Ek.2^{14}$	14	+
2	$Ek.6^5$	5	

Максимальне значення сумарної трудомісткості  $S_{\max j}^6 = 14$  хв. і відповідає гілці СВ № 2. Оскільки  $S_{\max j}^6 = 14 < \Delta_3$ , то гілку № 2 можна поставити на РМ № 3.

$$\Delta_3 = T_{\Pi} - S_{\max j}^3 - S_{\max j}^4 - S_{\max j}^6 = 93 - 39 - 35 - 14 = 5 \text{ хв.}$$



СО № 6 можна скласти на РМ № 3, оскільки трудомісткість її виготовлення  $S_{\max j}^7 = 5 = \Delta_3$ .

РМ №3	Ек.10	Ек.12	Ек.4	Ек.7	Ек.15	Ек.2	Ек.6
----------	-------	-------	------	------	-------	------	------

Після розподілу всіх СО за РМ отримаємо послідовність складання виробу (рис. 3.) з вказаними обмеженнями на підпорядкованість СО одна одній згідно ієрархічної структури виробу у вигляді графа (рис. 4).

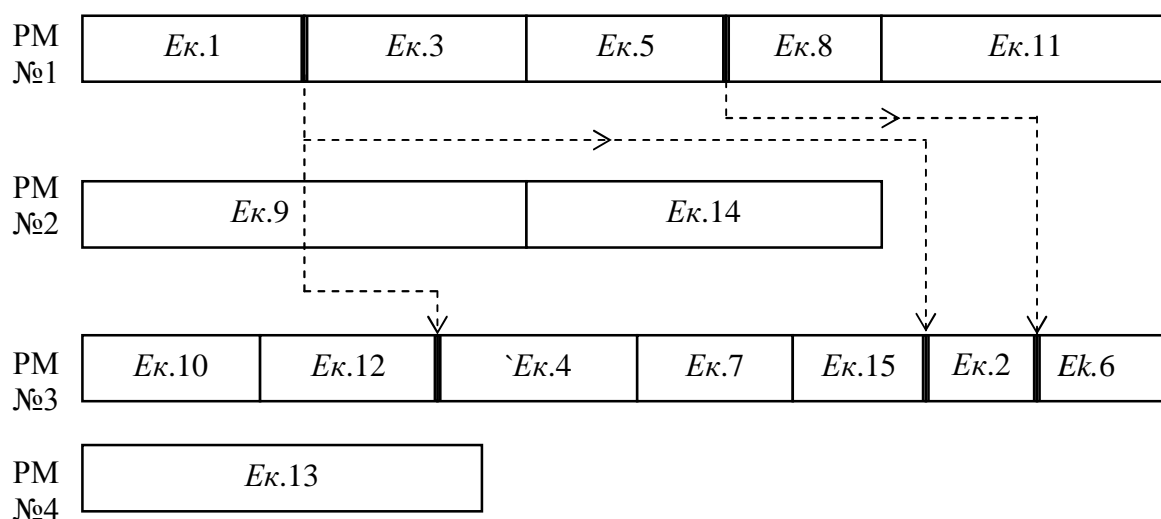


Рис. 3. Послідовність складання виробу з урахуванням конструктивних обмежень.

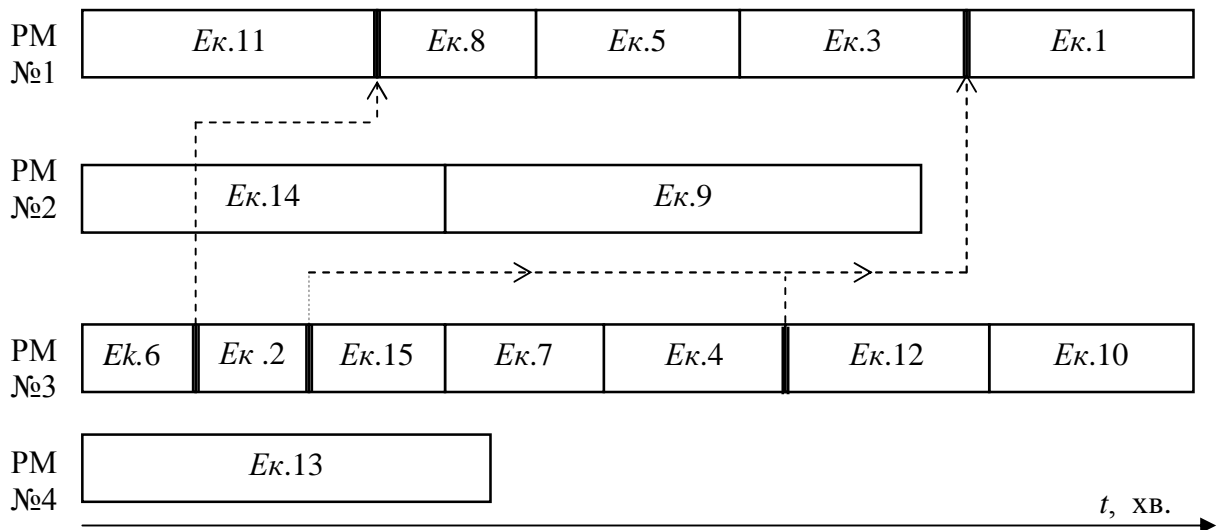
Для наглядного зображення порядку складання виробу переконвертуємо послідовність (рис. 3) у наступний вигляд (рис. 4).

### Висновки

Отримана послідовність операцій складання між РМ характеризується відсутністю затримок під час виконання операцій та максимально можливим завантаженням робочих місць, мінімальним членуванням гілок СВ. Реалізація запропонованого підходу на прикладі формування порядку складання СО згідно ММПС та плану надходження комплектів деталей на складання довела можливість скорочення загального циклу складання виробу та забезпечення раціонального завантаження РМ складальників.

Метою подальшого розвитку даної тематики є удосконалення запропонованого підходу формування послідовності складання виробу з урахуванням організаційно-технологічних чинників з можливістю його застосування для інших типів приладобудівного виробництва, а також розробка нового підходу, де б враховувалась також кваліфікація робітника-складальника, що могло б суттєво зменшити собівартість виготовлення продукції.





**Рис. 4.** Часова діаграма виконання операцій складання виробу.

### **Література**

1. Соколов В. П. Математическое, методическое и организационное обеспечение технологической подготовки производства / В. П. Соколов, А. В. Цырков // Информационные технологии в наукоемком машиностроении. – К.: Техніка, 2001. – С. 475-501.
2. CIMdata Reports Continuing Strong PLM Market Growth / ANN ARBOR. – Michigan, 2005. – P. 47-54.
3. Румбешта В. О. Основы технологии складання приладів: Підручник / В. О. Румбешта. – К.: ІСДО, 1993. – 303 с.
4. Румбешта В. О. Прийняття рішень в автоматизованій системі технологічної підготовки приладобудівного виробництва на базі дискретної оптимізації / Н. В. Стельмах, В. О. Румбешта // Науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління. Нові технології. – 2009. – №1 (23). – С. 189–191.

### **References**

1. Sokolov V. P., Tsirkov A. V. Mathematical, methodical and organizational maintenance of technological preparation of manufacture / V. P. Sokolov, A. V. Tsyrvkov // Information Technology in mechanical engineering. – K: Tehnika, 2001. – P.475-501. [rus]
2. CIMdata Reports Continuing Strong PLM Market Growth / ANN ARBOR. – Michigan, 2005. – P. 47-54.
3. Rumbeshta V. A. Basic assembly technology devices: Textbook / V. A. Rumbeshta. – K.: ISDO, 1993. – 303 p. [ukr]
4. Rumbeshta V. O. Decision Making in the automated system of technological preparation of instrument-based discrete optimization / N. V. Stelmakh, V. A. Rumbeshta // Scientific Bulletin of Economics University of Kremenchug, information technology and management. New technologies. – 2009. – № 1 (23). – P. 189-191. [ukr]

### **Н. В. Стельмах**

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
Київ, Україна*

**ФОРМИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СБОРКИ ИЗДЕЛИЯ СОГЛАСНО**

## МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПИСАНИЯ ИЗДЕЛИЯ И ОЦЕНКА ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Рассмотрен пример формирования последовательности сборки изделия согласно плана поступления комплектов деталей на сборку в целях обеспечения ускоренного выпуска нового изделия и снижению себестоимости выполнения сборочно-испытательных и контрольно-измерительных работ в мелкосерийном производстве. Полученная последовательность операций сложения и распределение между рабочими местами характеризуется отсутствием задержек при выполнении операций и максимально возможным загрузкой рабочих мест, минимальным членением ветвей сборочного изделия, что в дальнейшей перспективе позволит разработать новый подход, где бы учитывалась квалификация рабочего-сборщика, что могло бы существенно уменьшить себестоимость изготовления продукции.

**Ключевые слова:** описание структуры изделия, трудоемкость сборки, цикл выпуска.

**N. V. Stelmakh**

*National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

## FORMATION OF PRODUCT ASSEMBLY SEQUENCE ACCORDING TO MATHEMATICAL MODEL OF PRODUCT DESCRIPTION AND THE EVALUATION OF ITS EFFECTIVENESS

An example of generating the assembly sequence of a product according to the plan of receiving parts kits for assembling to accelerate the release of new product performance and reducing the prime cost of assembling, testing and measuring operations in short-batch production. The resulting sequence of operations of addition and distribution between jobs characterized by the absence of delays in operations, and the maximum possible load of jobs, minimal articulation of the branches of the assembly of the product, that in the longer term, will develop a new approach, which would take into account the qualifications of the worker-collector, which could significantly reduce the manufacturing cost of production.

**Keywords:** description of the product structure, assembly labor content, release cycle.

*Надійшла до редакції  
20 листопада 2011 року*