

ПАВЛОВ О. А.,  
МІСЮРА О. Б.,  
МЕЛЬНИКОВ О. В.,  
АРАКЕЛЯН Г. А.,  
ЩЕРБАТЕНКО О. В.,  
МИХАЙЛОВ В. В.,  
ЛИСЕЦЬКИЙ Т.Н.

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ІЄРАРХІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ОРГАНІЗАЦІЙНО-ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ

Наведено короткий опис комплексної системи оперативного планування та прийняття рішень у складних організаційно-виробничих системах та схема розв'язання задачі. Детальний приклад розв'язання задачі планування у системі для випадку дискретного виробництва показує усі переваги використання системи для кінцевого користувача. У висновках наведено галузі застосування системи та економічний ефект від її впровадження.

A short description of the complex system of operational planning and decision making in complex organizational systems is provided together with the scheme for solving the problem. A detailed example of solving the planning problem in the system for discrete production case shows all the advantages for end user. The conclusions contain the system application areas and the economic effect of its implementation.

### Загальна характеристика системи

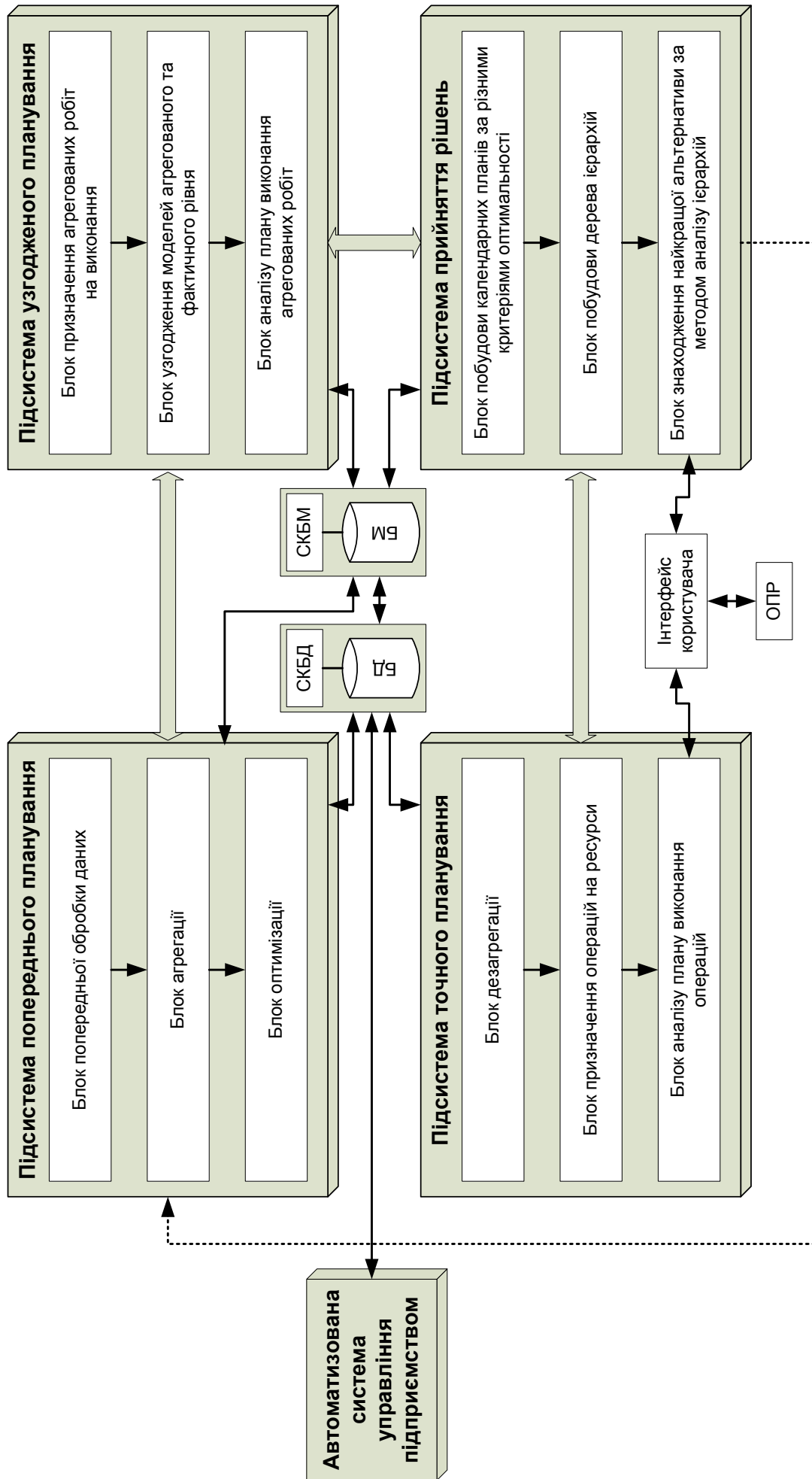
На підставі проведених теоретичних досліджень та розроблених ПДС-алгоритмів розв'язання важкорозв'язуваних задач комбінаторної оптимізації [1] авторами створена комплексна система оперативного планування та прийняття рішень (СОППР). Вказана система є пакетом програм, призначених для розв'язання задач оперативного планування у складних організаційно-виробничих системах (ОВС) та вибору найкращого плану із побудованих за 7 критеріями оптимальності [1].

В основу математичного забезпечення системи покладена трирівнева модель планування, функціональна схема якої представлена в [2], та розроблена система взаємозв'язаних моделей та методів, яка дозволяє враховувати складність сучасного виробництва. На відміну від існуючих методів планування, кращі з яких містять лінійну чи випадкову комбінацію різних правил переваги, що не гарантує якості отриманих розв'язків, в процесі розв'язання задачі планування визначається стратегія пошуку глобального оптимуму, що дозволяє отримати розв'язки, близькі до оптимальних. В основі моделі лежить розв'язання задачі мінімізації сумарного зваженого моменту закінчення виконання завдань (МЗМ), що визначає пріоритети виконання завдань та дозволяє мінімізувати час їх проходження у виробничому циклі.

Система СОППР має модульну структуру та може бути без будь-яких суттєвих доробок впроваджуватись як модуль планування та прийняття рішень у складі АСУ ОВС різних галузей народного господарства. Архітектура системи показана на рис. 1. Система включає ряд блоків, об'єднаних у чотири підсистеми. За результатами роботи системи особа, що приймає рішення (ОПР), отримує найкращий з можливих планів виконання завдань за різними критеріями оптимальності. Розв'язання задачі реалізується за блок-схемою, показаною на рис. 2. Схема вибору алгоритму розподілу агрегованих робіт в ієрархічній моделі планування та управління (перший блок II рівня моделі) для кожного з 7 критеріїв оптимальності показана на рис. 3. Ілюстративний приклад використання технології розв'язання задачі планування у дискретному виробництві наведений нижче.

### Ілюстративний приклад розв'язання задачі планування

Покажемо на прикладі використання технології розв'язання задач планування на основі ієрархічної моделі планування та управління для дискретного виробництва. У даному прикладі розв'язується задача за критерієм 1 [2] – максимізація прибутку (МЗМ) при відсутності директивних строків.

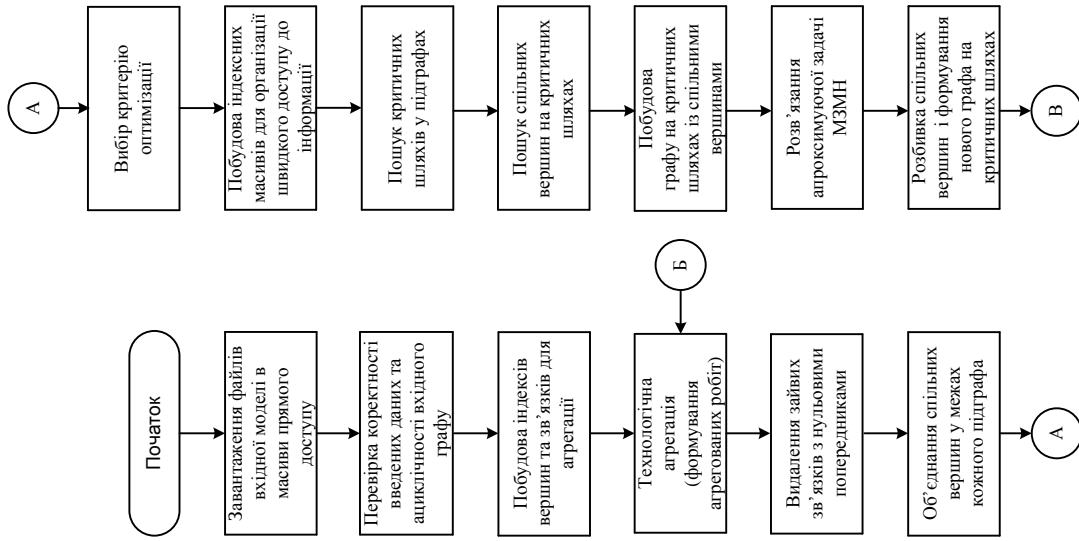


\*БД – база даних; БМ – база моделей; СКБД – система керування базою даних; СКБМ – система керування базою моделей.

Рис. 1. Архітектура комплексної системи оперативного планування та прийняття рішень СОППР\*

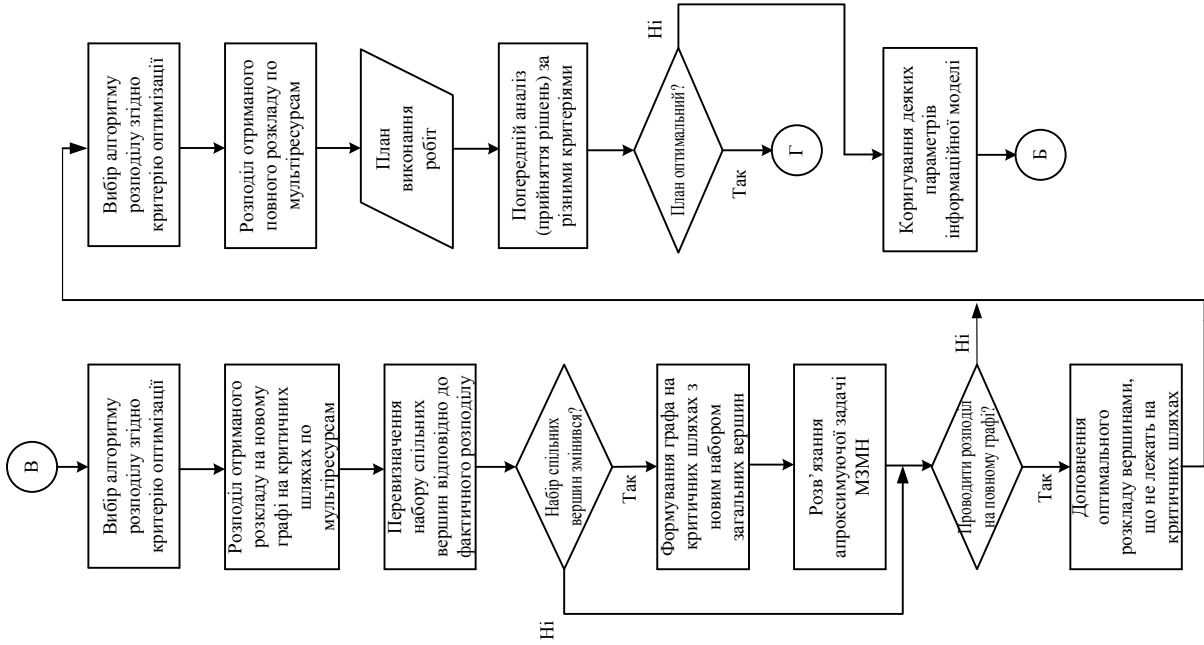
### I рівень

Побудова агрегованої моделі



### II рівень

Побудова плану виконання агрегованих робіт мультіресурсами



### III рівень

Побудова пооператійного плану

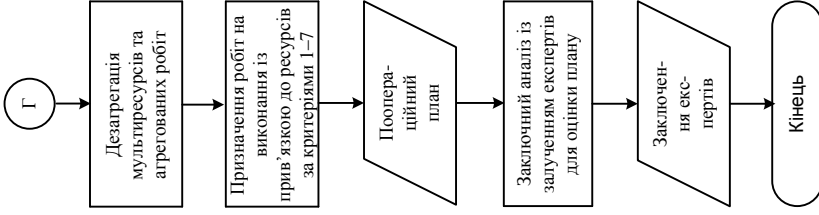


Рис. 2. Блок-схема алгоритму розв'язання задач планування на основі ієрархічної моделі планування та прийняття рішень

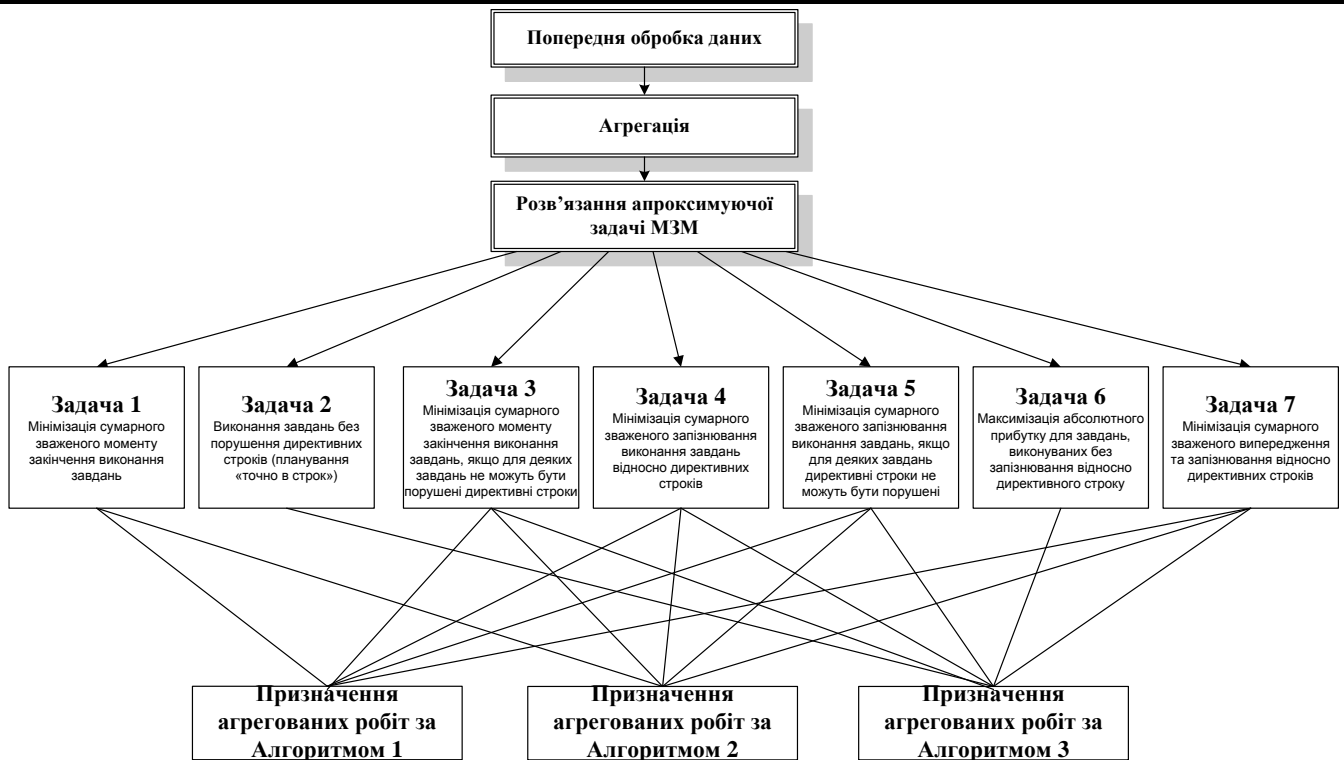


Рис. 3. Схема вибору алгоритму розподілу агрегованих робіт в ієрархічній моделі планування та прийняття рішень в ОВС

### Рівень I. Побудова моделі технологічної й конструкторської агрегації

Вхідна модель інформації, як правило, являє собою бази даних з інформацією про завдання (вироби), операції, взаємозв'язки між ними, мультиресурси (комірки), групи комірок і календар робіт (інформація подається із АСУ підприємства). Вхідний ациклічний орієнтований граф операцій представляється у вигляді ланцюжків технологічних операцій (переліку робіт) і конструкторської входимості (переліку взаємозв'язків між операціями).

*Вхідні дані:* є 3 вироби (серії однотипних виробів), їхні характеристики наведені в табл. 1. Кожний виріб складається з деталей і складань, технологія виготовлення яких описана в табл. 2.

Табл. 1. Вхідні дані: довідник виробів

Виріб	Кількість виробів у серії	Ваги виробів ( $\omega_i$ ), що входять у критерій 1
И1	80	1
И2	90	2
И3	65	3

Табл. 2. Вхідні дані: технологія виконання виробів (деталей, збірок)\*

Деталь	Група комірок	Захід	НМ	$l$ , год
Д1	5	1	3	0,01
Д1	1-3	1	2	0,15
Д1	1-2	1	1	0,03
Д2	1-1	1	4	0,02
Д2	1-3	2	3	0,01
Д2	4	1	2	0,01

Деталь	Група комірок	Захід	НМ	$l$ , год
Д2	1-3	1	1	0,03
Д3	1-1	1	3	0,02
Д3	2	1	2	0,02
Д3	1-3	1	1	0,03
Д5	5	1	2	0,1
Д5	2	1	1	0,3
Д6	5	1	4	0,05
Д6	2	1	3	0,02
Д6	3	1	2	0,03
Д6	4	1	1	0,04
Д7	5	1	2	0,05
Д7	2	1	1	0,02
С1	5	1	4	0,05
С1	3	1	3	0,13
С1	1-2	1	2	0,12
С1	1-1	1	1	0,01
С2	1-1	1	1	0,03
С3	5	1	2	0,5
С3	1-1	1	1	0,11
С4	1-1	1	2	0,11
С4	1-3	1	1	0,12
С5	1-3	1	4	0,11
С5	2	1	3	0,02
С5	4	1	2	0,04
С5	5	1	1	0,05
С6	5	2	3	0,05
С6	4	1	2	0,4
С6	5	1	1	0,5
С7	5	1	2	0,5
С7	1-1	1	1	0,11
И1	5	1	1	0,55
И2	5	1	1	0,4
И3	5	1	1	0,5

\*НМ – номер у маршруті,  $l$  – тривалість виконання

Роботи виконуються на множині з 14 комірок, об'єднаних у 7 груп, дані по яких наведені в табл. 3. В окремих комірках устаткування вимагає тривалого переналагодження при виконанні різних видів операцій.

Графи конструкторської входимості виробів наведені на рис. 4–6.

**Табл. 3. Вихідні дані: довідник груп комірок\***

Група	Цех	Ділянка	Комірки	Робочих місць	$I_{нал}$
1-1	1	1-1; 1-2	1-1-1; 1-1-2	9	1
1-2	1	2	1-2	11	–
1-3	1	3-1; 3-2; 3-3	1-3-1; 1-3-2; 1-3-3	24	–
2	2	1; 2; 3	2-1; 2-2; 2-3	14	2
3	3		3	11	4
4	4	1; 2	4-1; 4-2	18	4
5	5	1; 2	5-1; 5-2	20	5

\*Кількість змін дорівнює 3 для всіх груп комірок.

Перетворення вхідного графа в граф коміркокомплектів здійснюється за допомогою процедури первинної агрегації. Агрегація такого технологічного типу сприяє об'єднанню суміжних операцій (по технологічних ланцюжках), які виконуються в одній і тій ж комірці по одному виробу, в один елемент, названий коміркокомплектом.

Пунктирною лінією на рис. 4–6 показано вершини, поєднані в коміркокомплекти. У кружку – код (назва) роботи, поруч із ним – код групи комірок (у дужках – номер заходу). Стрілки позначають входження, числа над стрілками – кількість робіт, які мають потребу у виконанні для передачі попередникові (застосовність).

Тривалість виконання коміркокомплекта визначається критичним шляхом у графі виконання робіт, що входять до нього, час переналагодження для коміркокомплекта дорівнює максимальному із часів переналагодження його перших робіт (листів графа). При цьому тривалість коміркокомплекта в одному виробі визначається технологією робіт. Загальна тривалість коміркокомплекта дорівнює сумі тривалостей операцій по всіх виробих у даній комірці по критичному шляху на одне робоче місце, тобто

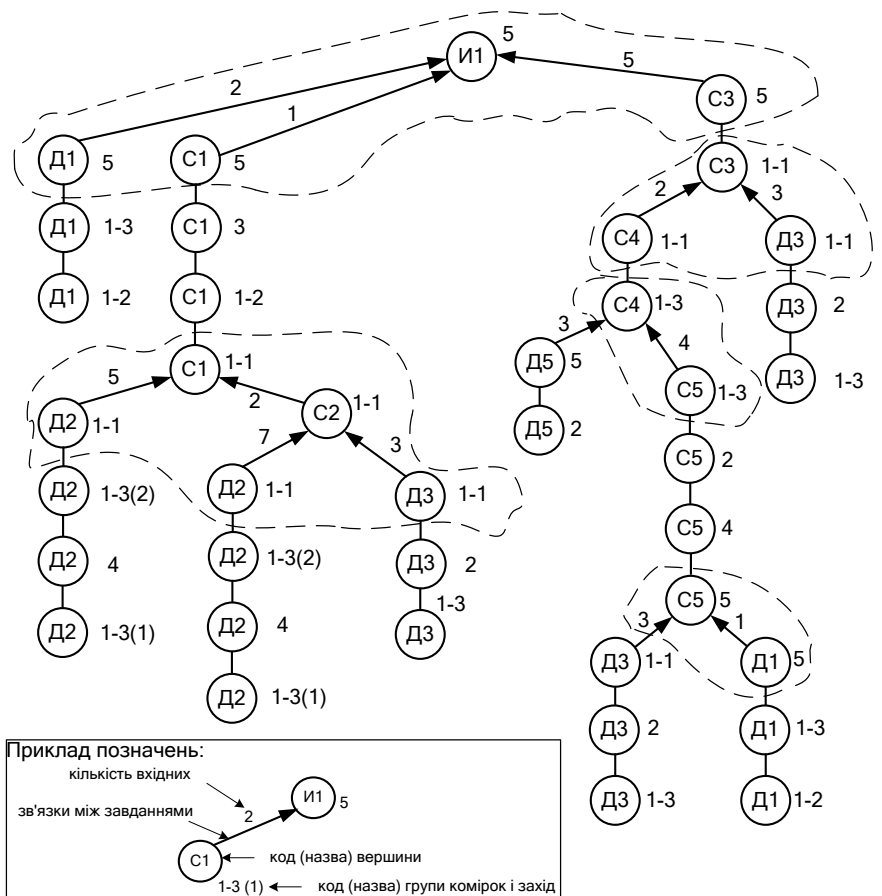
$$Lop_i = \sum_{j \in CP_i} \frac{Lop_{ij} \cdot Nnp_i \cdot N_i}{KRM_i}, \quad (1)$$

де  $L_i$  – тривалість  $i$ -го коміркокомплекта;  $Nnp_i$  – кількість операцій у виробі (застосовність);  $Lop_{ij}$  – тривалість  $j$ -ї операції  $i$ -го коміркокомплекта;  $N_i$  – кількість виробів, у які входить  $i$ -й коміркокомплект;  $KRM_i$  – кількість робочих місць у всіх комірках групи (з розрахунком на паралельне виконання в однотипних комірках);  $CP_i$  – критичний шлях операцій коміркокомплекта.

Величину  $Lop_i = \max \left[ \sum_{j \in CP_i} Lop_{ij}, 1 \right]$  назвемо тривалістю однієї агрегованої операції. Тоді  $Nop_i = \frac{Nnp_i \cdot N_i}{KRM_i}$  – кількість агрегованих операцій у коміркокомплекті.

Отже,  $L_i = Lop_i \cdot Nop_i$ . З наведеної формули видно, що фактично тривалість коміркокомплекта виявляється кратної тривалості однієї агрегованої операції  $Lop_i$ , що визначається як сума тривалостей операцій по критичному шляху коміркокомплекта. Агрегована операція – найменша частина коміркокомплекта, що не допускає дроблення на більш дрібні частини.

Після одержання первинних коміркокомплектів методом технологічного об'єднання мо-



**Рис. 4. Граф конструкторської входимості: виріб І1**

же здійснюватися конструкторське об'єднання множини коміркокомплектів і нові графи їхнього

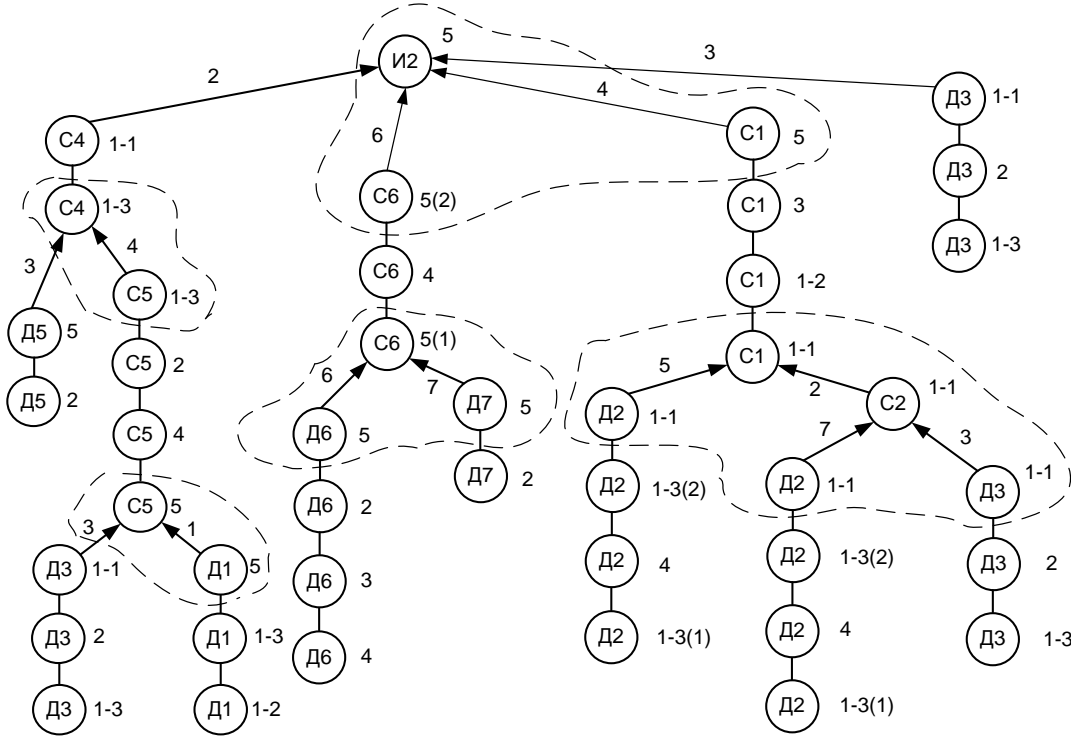


Рис. 5. Граф конструкторської входимості: виріб И2

коміркокомплектів, що мають однакові коди вершин і комірок в одному виробі, час запуску яких по критичному шляху виробу різняться не більш, ніж на максимальне значення із часів їхнього переналагодження. При цьому коміркокомплекти утворюють один комплект із сумарною тривалістю й часом переналагодження, що дорівнює максимальному із всіх часів їхнього переналагодження.

Конструкторська агрегація виконується рідко, тому що вона звичайно приводить до великих тривалостей агрегованих робіт, що погано впливає на результат розподілу. Однак об'єднання робіт у спільні вершини, розглянуте далі, також є методом конструкторської агрегації.

У результаті виконання процедури технологічної агрегації отримана

наступних блоків. При індексації визначаються значення окремих реквізитів моделі відповідно до критерію, обраного користувачем. На сформованій у результаті перенумерації моделі інформації здійснюється пошук критичних шляхів виробів. Критичний шлях у графі, де кожна

взаємозв'язку для кожного виробу (рис. 7, табл. 4). На рис. 7 числа ліворуч від кружків позначають номери агрегованих робіт після перенумерації.

### Рівень II. Побудова плану виконання коміркокомплектів в комірках

Далі здійснюється побудова спеціальних індексних масивів для швидкого доступу до інформації, необхідної для виконання

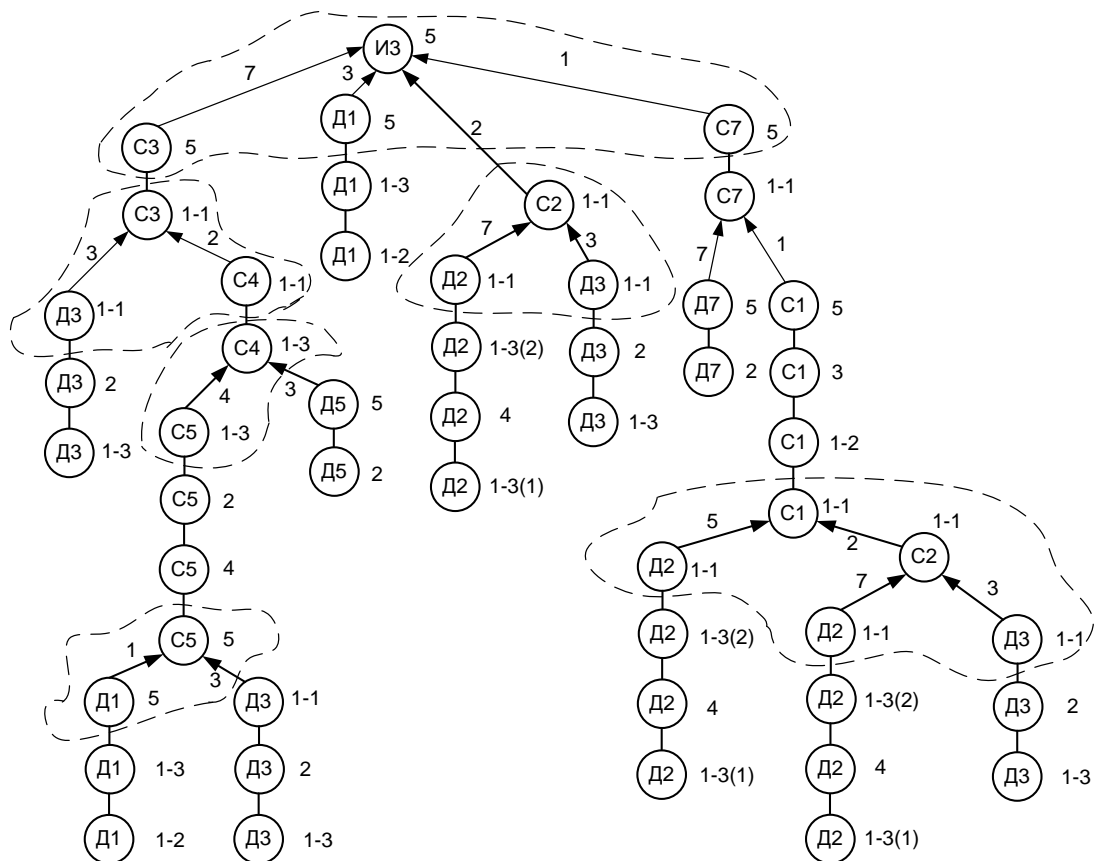
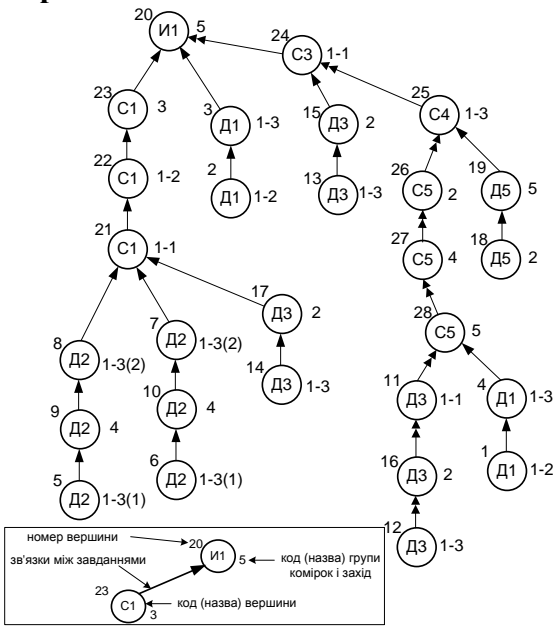


Рис. 6. Граф конструкторської входимості: виріб И3

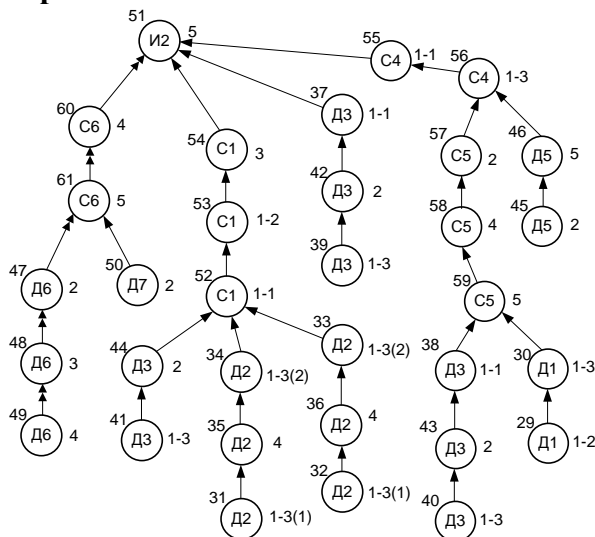
вершина навантажена тривалістю, – це шлях з максимальною тривалістю. Критичні шляхи

шукають за допомогою спрямованого повного перебору вершин графа комірकोкомплектів. Для пошуку критичного шляху перед його виконанням перевіряється ацикличність побудованого графа. Використовувані процедури пошуку критичного шляху у графі детально розглянуто у [2]. На графах взаємозв'язку коміркокомплектів (див. рис. 7) критичні шляхи відзначені лініями з подвійною стрілкою.

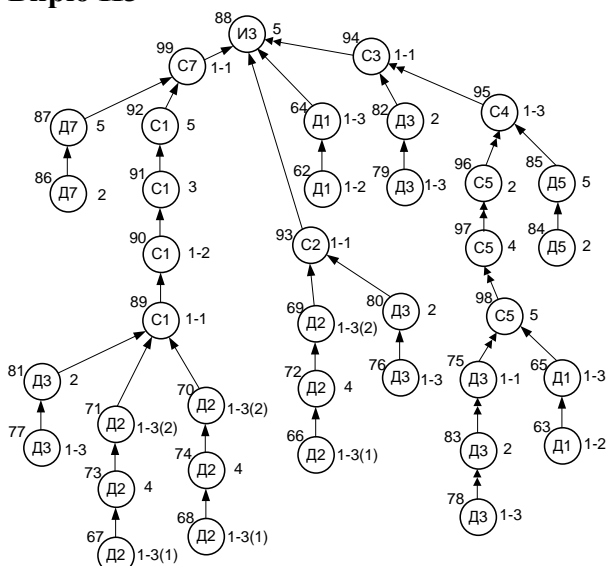
**Виріб И1**



**Виріб И2**



**Виріб И3**



**Рис. 7. Графи коміркокомплектів, отримані після технологічної агрегації, і критичні шляхи виробів (подвійні стрілки)**

**Табл. 1. Агреговані тривалості коміркокомплектів із тривалостями переналагоджень в комірках**

<i>i</i>	<i>l<sub>i</sub></i>	<i>i</i>	<i>l<sub>i</sub></i>	<i>i</i>	<i>l<sub>i</sub></i>
1	8,727	34	8,727	67	8,727
2	0,436	35	0,436	68	0,436
3	1,000	36	1,000	69	1,000
4	20,000	37	20,000	70	20,000
5	1,400	38	1,400	71	1,400
6	0,500	39	0,500	72	0,500
7	0,167	40	0,167	73	0,167
8	0,467	41	0,467	74	0,467
9	0,622	42	0,622	<b>75</b>	<b>0,622</b>
10	0,222	43	0,222	76	0,222
<b>11</b>	<b>21,333</b>	44	21,333	77	21,333
<b>12</b>	<b>12,000</b>	45	12,000	<b>78</b>	<b>12,000</b>
13	1,500	46	1,500	79	1,500
14	0,600	<b>47</b>	<b>0,600</b>	80	0,600
15	1,714	<b>48</b>	<b>1,714</b>	81	1,714
<b>16</b>	<b>13,714</b>	<b>49</b>	<b>13,714</b>	82	13,714
17	0,686	50	0,686	<b>83</b>	<b>0,686</b>
18	51,429	<b>51</b>	<b>51,429</b>	84	51,429
19	12,000	52	12,000	85	12,000
<b>20</b>	<b>12,200</b>	53	8,727	86	8,727
21	3,111	54	0,436	87	0,436
22	0,873	55	1,000	<b>88</b>	<b>1,000</b>
23	0,945	56	20,000	89	20,000
<b>24</b>	<b>14,667</b>	57	1,400	90	1,400
<b>25</b>	<b>18,667</b>	58	0,500	91	0,500
<b>26</b>	<b>4,571</b>	59	0,167	92	0,167
<b>27</b>	<b>7,111</b>	<b>60</b>	<b>0,467</b>	93	0,467
<b>28</b>	<b>9,600</b>	<b>61</b>	<b>0,622</b>	<b>94</b>	<b>0,622</b>
29	2,945	62	0,222	<b>95</b>	<b>0,222</b>
30	6,750	63	21,333	<b>96</b>	<b>21,333</b>
31	6,300	64	12,000	<b>97</b>	<b>12,000</b>
32	2,250	65	1,500	<b>98</b>	<b>1,500</b>
33	0,750	66	0,600	99	0,600

\* *i* – номер вершини; жирним шрифтом відзначені вершини, що лежать на критичних шляхах, курсивом – поєднані в загальні вершини.

Побудований за такими правилами граф (рис. 8) є графом меншої розмірності, тому що він включає тільки вершини на критичних шляхах. Таким чином, реалізується агрегування моделі до рівня «одного приладу». Вершини № 3 і № 4, а також № 14 і № 15 не об'єдналися з тієї причини, що група комірок «1-3», у якій вони виконуються, не є унікальною й не містить устаткування, що потребує переналагоджень. Вершини № 1 і № 2, №16 і №17, №12 і



№13 не об'єдналися тому, що не виконались умови їхнього об'єднання [1].

При об'єднанні спільних вершин можуть з'явитися однакові зв'язки. Тому при нумерації виконується процедура їхнього видалення. Крім того, потрібно виключити ситуації, коли поєднуються вершини, з яких не всі становлять листи. Тоді потрібно видалити виникаючі при цьому «зайві» нульові зв'язки.

Після побудови графа на критичних шляхах розраховуються розміри партій агрегованих операцій для кожного коміркокомплекта. Коміркокомплекти розбиваються на однакове число партій (при цьому процедура розподілу найбільш прост і швидка, тому що не вимагає перегляду попередників по кожній призначуваній партії й кожному спадкоємцю). Мінімальне число партій визначається максимальною тривалістю партії, рівної тривалості зміни, тому що не повинна бути порушена умова безперервності виконання партії. Тому мінімальна кількість партій дорівнює цілій частині максимальної із тривалостей коміркокомплектів, поділеній на тривалість зміни, плюс одиниця. Нарешті, кількість коміркокомплектів у партії визначається як тривалість агрегованої операції, помножена на кількість комірок у групі та розділена на кількість партій. У нашому прикладі число партій для коміркокомплектів дорівнює 1.

Центральною при розв'язанні задач погоженого планування ієрархічної моделі планування та управління є задача «Мінімізація сумарного зваженого моменту закінчення виконання завдань при відношенні порядку, заданому орієнтованим ациклічним графом, у якій для всіх вершин графа, крім кінцевих, вага дорівнює нулю» (МЗМН), розглянута в [3]. Ця задача служить для визначення черговості призначення агрегованих робіт на виконання, що у свою чергу є основною інформацією для розв'язання задач другого й третього рівня моделі.

Тому на графі критичних шляхів коміркокомплектів розв'язується оптимізаційна задача МЗМН (ваги задані тільки для кінцевих вершин – у цьому випадку це вершини 9, 10, 11 з вагами 1, 2, 3 відповідно. Ваги для інших вершин дорівнюють нулю). Алгоритм розв'язання описаний у [3]. Послідовність виконання коміркокомплектів з розбивкою на підпослідовності максимального пріоритету (ПМП) наведена в табл. 5.

Послідовність, отримана після розв'язання задачі МЗМН, побудована на агрегованому графі, що включає спільні вершини. Хоча існує практика об'єднання деяких коміркокомплектів

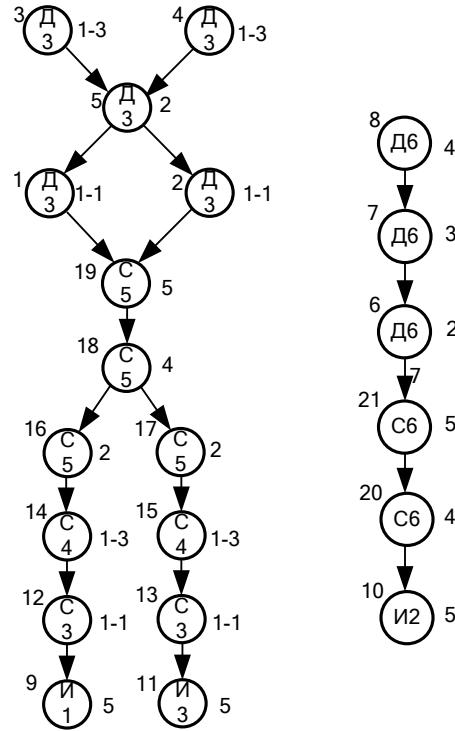


Рис. 8. Граф на критичних шляхах виробів

у спільні блоки, але при фактичному виконанні цих коміркокомплектів можливі ситуації, коли їхнє реальне об'єднання не вигідно. Це може

Табл. 5. Пріоритетно-упорядкована послідовність виконання коміркокомплектів – результат розв'язання задачі МЗМН\*

<i>n</i>	<i>n</i> <sub>поч</sub>	$\omega_i$	<i>l<sub>i</sub></i>	Спільна	<i>C<sub>i</sub></i>
<b>ПМП №1:</b>					
8	49	0	11,200	Ні	11,2
7	48	0	12,836	Ні	24,0
6	47	0	6,629	Ні	30,7
21	61	0	27,950	Ні	58,6
20	60	0	16,000	Ні	74,6
<b>10</b>	<b>51</b>	<b>2</b>	<b>8,150</b>	<b>Ні</b>	<b>82,8</b>
<b>ПМП №2:</b>					
3	12	0	12,000	Ні	94,8
4	78	0	13,650	Ні	108,4
5	16 і 83	0	31,314	Так	139,7
1	11	0	22,333	Ні	162,1
2	75	0	25,267	Ні	187,3
19	28 і 98	0	25,520	Так	212,8
18	27 і 97	0	19,200	Так	232,0
17	96	0	7,200	Ні	239,2
15	95	0	21,233	Ні	260,5
13	94	0	17,683	Ні	278,2
<b>11</b>	<b>88</b>	<b>3</b>	<b>18,000</b>	<b>Ні</b>	<b>296,2</b>
16	26	0	6,571	Ні	302,7
14	25	0	18,667	Ні	321,4
12	24	0	15,667	Ні	337,1
<b>9</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>17,200</b>	<b>Ні</b>	<b>354,3</b>

\**n* – номер вершини у графі на критичних шляхах, *n*<sub>поч</sub> – номер вершини у початковому графі коміркокомплектів, функціонал *f* розраховується для вершин з вагою: *f*<sub>10</sub> = 165,5; *f*<sub>11</sub> = 1054,0; *f*<sub>9</sub> = *f*<sub>Σ</sub> = 1408,3.

відбутися, наприклад, якщо фактичне завантаження ресурсів перевищує планові показники,



внаслідок чого виникають простої встаткування та зменшуються резерви часу. Більше того, фактична інформація про розподіл визначає більш точну модель графа, чим отримана при порівнянні тривалостей виконання з початку критичного шляху. Агрегована модель є неточним представленням моделі планування, так як вона працює з агрегованими показниками. Тому агрегована модель може не відповідати дійсності при розподілі комірководкомплектів на виконання. Якщо в результаті неточності моделі в спільну вершину поєднуються комірководкомплекти, які будуть фактично виконуватися в різні проміжки часу, то це приводить до затримки виконання всіх спадкоємців відповідних комірководкомплектів по графу зв'язності.

Для узгодження моделей першого (агрегованого) і другого (фактичного) рівнів потрібно проаналізувати фактичну інформацію про розподіл і сформулювати новий набір спільних вершин, що відповідає їхньому фактичному об'єднанню. Очевидно, спільні вершини, які були об'єднані при агрегації, не можна розподілити на виконання як спільні. Агрегована модель повинна бути дезагрегована, тобто спільні вершини повинні бути розбиті на окремі комірководкомплекти, але потрібно дотриматись порядку виконання комірководкомплектів, визначеного розв'язанням задачі МЗМН. Тому будується новий граф зв'язності, у якому кожна із спільних вершин перетворюється в ланцюжок вершин критичних шляхів виробів зі збереженням відносин передування графа на критичних шляхах. При цьому попередники кожної об'єднаної в графі на критичних шляхах спільної вершини стають попередниками першої (починаючи з листів графа) вершини в ланцюжку, а спадкоємці кожної об'єднаної спільної вершини – спадкоємцями останньої вершини в ланцюжку.

Наприклад, якщо вершині  $i$  графа на критичних шляхах відповідає вершина  $B_i$  загального графа, а спільні вершини мають номери 3 і 6, і їм відповідають по дві вершини загального графа (позначимо їх умовно  $B_{31}$ ,  $B_{32}$ ,  $B_{61}$ ,  $B_{62}$ ; вони здобувають свої власні номери в даній процедурі), то здійснюється перетворення графа на критичних шляхах, показане на рис. 9.

Далі виконується розподіл комірководкомплектів побудованого графа критичних шляхів з розбивкою спільних вершин для уточнення інформації про їхнє об'єднання на стадії розподілу. У користувача в діалозі запитуються дати початку й закінчення планового періоду. За календарем робочих днів визначаються номери робо-

чих днів початку та закінчення планового періоду, а також кількість робочих днів у плановому періоді. По кожній комірниці розраховується фонд часу комірниці в днях, який дорівнює добутку кількості робочих днів у плановому періоді та коефіцієнта змінності.

Процедура розподілу може застосовуватися для будь-якого вхідного графа (загальний граф зв'язності комірководкомплектів, граф на критичних шляхах або граф на критичних шляхах з розбивкою спільних вершин). Для правильної роботи відповідно до обраної підзадачі відкриваються відповідні заданому графу масиви зв'язків і вершин. Це можливо завдяки уніфікації їхніх структур. На даному етапі алгоритму виконується розподіл по графу з розбивкою спільних вершин і вводяться наступні припущення:

а) комірководкомплекти не розбиваються на партії: при розбивці на партії неможливо визначити фактичний набір спільних вершин, тому під «партією» в алгоритмі треба розуміти «комірководкомплект»;

б) у зв'язку з тим, що тривалість не розбитих на партії комірководкомплектів може перевищувати тривалість робочого дня в деяких комірниках, уважається, що всі комірники працюють цілодобово.

Алгоритми розподілу описані в [2]. Для нашого приклада вони використовуються в припущенні, що завдання надходять у систему одночасно:  $\forall j r_j = 0$ . Згідно рис. 3 застосовується алгоритм розподілу 1, тому що розв'язується задача за критерієм 1 (максимізація прибутку підприємства при відсутності директивних строків).

Після першого розподілу на графі критичних шляхів проводиться перевизначення набору

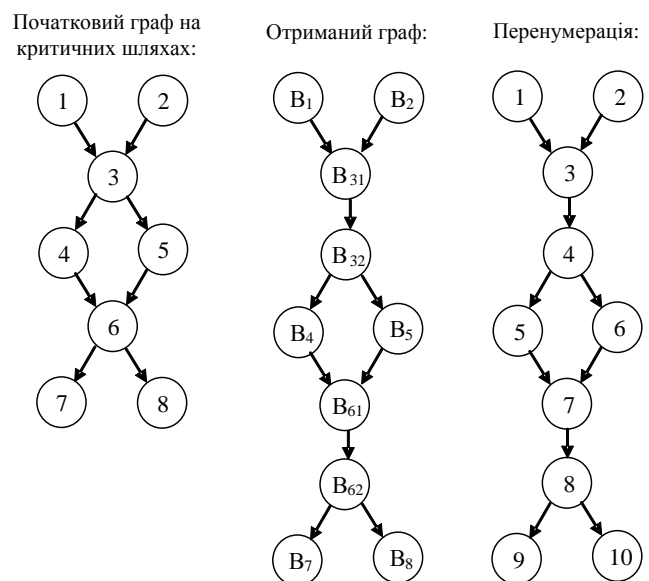


Рис. 9. Приклад перетворення графа при розбивці спільних вершин

спільних вершин відповідно до фактичній інформації про розподіл. Це здійснюється наступним алгоритмом: для кожної спільної вершини перевіряються ознаки об'єднання в графі на критичних шляхах і об'єднання при розподілі, і якщо вони не збігаються, то необхідно поставити ознаку об'єднання в графі на критичних шляхах в ознаку об'єднання при розподілі, ознаку необхідності перерозподілу – в «Істина».

Якщо набір спільних вершин не змінився, то модель не вимагає зміни й, отже, потрібно тільки перерозподілити комірководкомплекти з розбивкою на партії та доповненням до повного графа (наступний крок). Інакше модель перебудовується та шукається нова послідовність виконання агрегованих робіт (повторне розв'язання задачі МЗМН). Для цього знову виконуються процедури, починаючи з формування графа на критичних шляхах виробів. Для побудови графа використовується набір спільних вершин, отриманий при розподілі комірководкомплектів.

У результаті повторного розв'язання задачі МЗМН отримана припустима пріоритетно-упорядкована послідовність, розбита на підпослідовності спадаючого пріоритету. Однак вона включає тільки комірководкомплекти, що лежать на критичних шляхах виробів, а для розподілу виробничої програми необхідно врахувати всі комірководкомплекти, необхідні для виконання всіх виробів. Тому для подальшої роботи алгоритму отримана послідовність доповнюється комірководкомплектами, що не лежать на критичних шляхах виробів, із присвоєнням їм відповідного номера ПМП. Весь надграф кожного з комірководкомплектів, що входять у пріоритетно-упорядковану послідовність, буде мати той же номер ПМП, що й цей комірководкомплект.

Розподіл отриманого розкладу по комірках із прив'язкою до планового періоду виконується по одному з алгоритмів розподілу, описаних вище, з такими виключеннями:

- алгоритм виконується по загальному графу зв'язності комірководкомплектів або графу на критичних шляхах, залежно від обраної підзадачі;
- виконується розбивка комірководкомплектів на партії (кількість ітерацій дорівнює кількості партій і виконується для партій замість однієї ітерації для комірководкомплектів повної тривалості);
- комірки мають відповідну позмінну роботу, а не цілодобову.

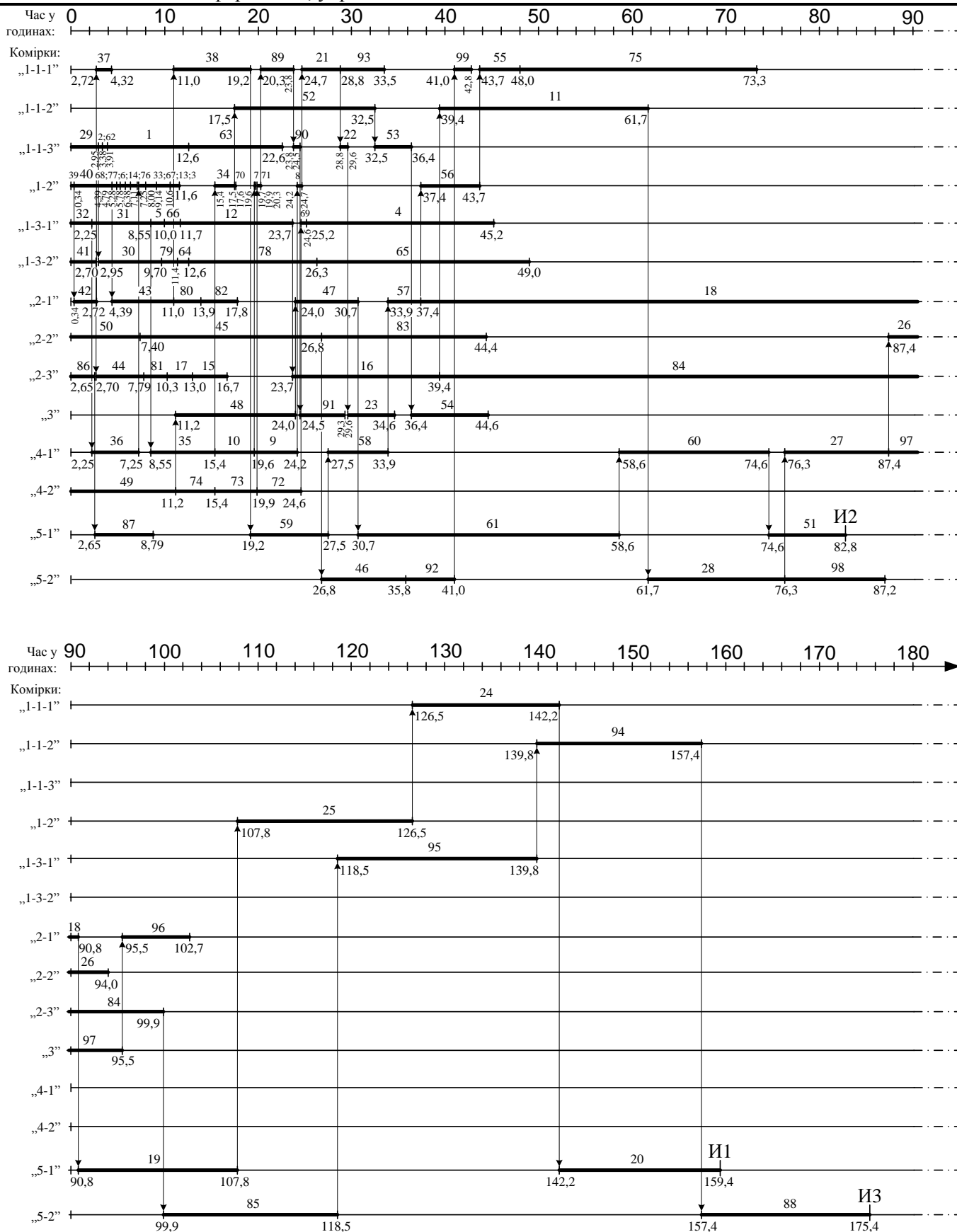
Приклад отриманої виробничої програми показаний на рис. 10. На цьому рисунку час наведений у годинах з моменту початку планового періоду. Фактична дата й час запуску комірководкомплектів визначається за допомогою виробничого календаря, коефіцієнта змінності комірки, дати початку планового періоду, заділа на початок планового періоду й інших планових показників.

### **Рівень III. Побудова виробничої програми із прив'язкою до ресурсів**

На третьому рівні ієрархічної моделі планування здійснюється формування повного плану виконання всіх операцій з розбивкою по ресурсах всіх комірок і з урахуванням розподілу комірководкомплектів, отриманого на другому рівні. При цьому можуть розв'язуватись оптимізаційні задачі.

Процедури розподілу операцій по ресурсах аналогічні алгоритмам 1, 2, 3 розподілу комірководкомплектів по комірках на другому рівні, що описані у [2]. Вибір алгоритму розподілу здійснюється залежно від необхідного критерію оптимізації розкладу: для одержання компактних розкладів вибирається аналог алгоритму 1 другого рівня, для незатримуючих – аналог алгоритму 2, для розкладів без запізнювання (критерії, що мають завдання з директивними строками) – аналог алгоритму 3. В алгоритмах третього рівня не здійснюється аналіз об'єднання спільних вершин. Розбивка агрегованих робіт на партії (для виробничих проектів) здійснюється за принципом забезпечення складання виробів за 1 зміну роботи складального цеху.

Оскільки в нашому прикладі розв'язується задача по критерію 1 [2], то застосовується алгоритм розподілу для одержання компактних розкладів операцій (аналог алгоритму 1 другого рівня), що забезпечить мінімізацію сумарного зваженого моменту виконання всіх операцій. Розподіл операцій по ресурсах проводиться за наступними правилами. Розглядається кожна комірка і здійснюється перегляд всіх комірководкомплектів (партій операцій), призначених на виконання в даній комірці. На кожному кроці на вільне робоче місце (ресурс) призначаються операції з мінімальним часом закінчення, що визначається як час початку виконання партії плюс тривалість виконання операції. Виходячи із принципів побудови плану виконання комірководкомплектів, всі ресурси будуть мати достатні резерви для виконання операцій, що лежать на критичному шляху операцій комірководкомплекта.



**Рис. 10. Результат розподілу виробничої програми по комірках**

За правилами побудови, кожний коміркомплекст містить ціле число операцій.

Схематично процес розподілу операцій показаний на рис. 11.

Як видно з рисунка, у результаті розподілу через округлення тривалості операції при ви-

значенні тривалості коміркомплекстів у формулі (1) у ресурсах можуть виникати резерви. Ці резерви можна використовувати для виконання інших паралельних операцій, не потребуючі переналагодження в комірці.

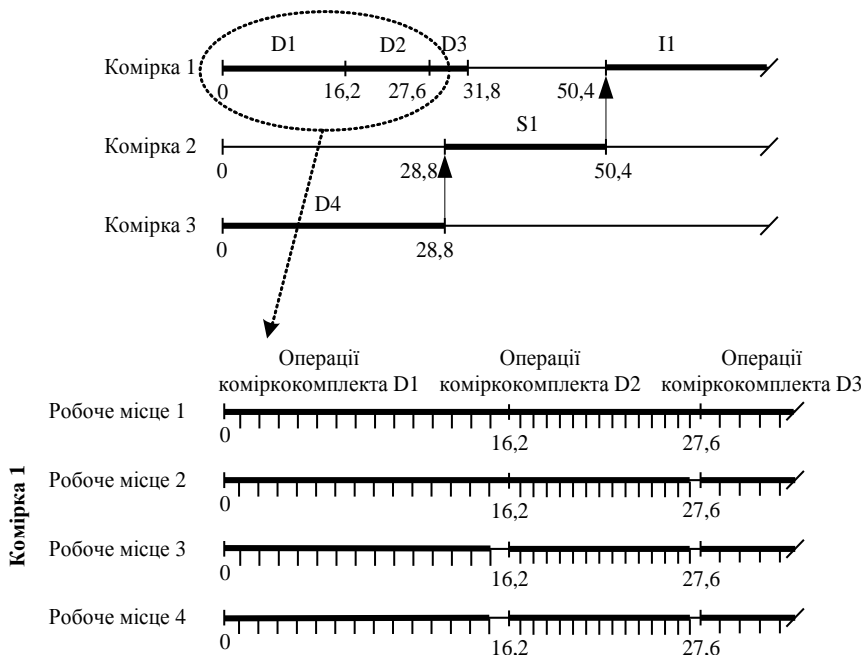


Рис. 11. Приклад розподілу операцій по робочих місцях

### Висновки

Дана стаття є продовженням циклу робіт зі створення методології планування і управління в організаційно-виробничих системах у різних прикладних областях. Загальна фундаментальна проблема, що вирішується у даному циклі – розробка математичних моделей та методів ієрархічного планування та прийняття рішень в складних організаційно-виробничих системах з мережним представленням технологічних процесів та обмеженими ресурсами.

Створено інформаційну технологію та комплексну систему оперативного планування та прийняття рішень, що реалізує розв’язання задач планування в складних організаційно-виробничих системах за різними критеріями оптимальності. Інформаційна технологія без будь-яких суттєвих доробок може бути впроваджена у автоматизовані системи планування виробництва та системи планування проектами, що показано на прикладі дискретного виробництва.

Розроблене математичне та програмне забезпечення дозволить в умовах жорсткої ринкової

конкуренції максимізувати прибуток підприємств, забезпечуючи найбільш повне завантаження обладнання, економію енергоресурсів за рахунок: ефективного використання обладнання, максимального скорочення виробничого циклу виготовлення виробів, виконання замовлень точно в строк, зниження витрат на проектування та виробництво та більш повного і своєчасного забезпечення потреб ринку у продукції. Економічний ефект для виробничих систем та систем управління проектами становить не менш 15% від вартості розробки нових виробів та технологій. На відміну від існуючих систем планування, в розробці враховано обмеженість потужностей та фактичне навантаження при виконанні робіт.

Запропоновані моделі та методи носять універсальний характер та знайдуть впровадження при розробці організаційно-виробничих систем у різних галузях народного господарства України, зокрема, для планування та управління робочим цехом, планування виробництв «на замовлення», планування виробництв дрібносерійного типу; ієрархічного планування виробництв по виготовленню партій; ієрархічного планування та управління проектами. Можливе також застосування розробленого комплексу моделей та методів ієрархічного планування в складних організаційно-виробничих системах в інших прикладних областях, наприклад, в системах автоматизованого проектування, інформаційних управляючих системах, системах автоматизації наукових досліджень, системах штучного інтелекту, системах проектування у будівництві та ін.

### Перелік посилань

1. Згуровский М.З., Павлов А.А. Принятие решений в сетевых системах с ограниченными ресурсами: Монография.– К.: Наукова думка, – 2010.– 573 с.
2. Загальна схема планування та управління складними об’єктами, що мають мережне представлення технологічних процесів й обмежені ресурси. / Павлов О.А., Місюра О.Б., Мельников О.В., Щербатенко О.В., Михайлов В.В. // Вісник НТУУ “КПІ”. Інформатика, управління та обчислювальна техніка. К.: “БЕК+”, 2009.– №49.– С.77-87
3. Павлов А.А., Теленик С.Ф. Информационные технологии и алгоритмизация в управлении.– К.: Техника.– 2002.– 344 с.