

Коноплянченко Є.В.¹,
Чибіряк Я.І.²,
Колодненко В.М.¹

¹ Сумський національний аграрний
університет,
E-mail: technology@i.ua

² Сумський державний університет,
E-mail: chibyana@i.ua

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСОВОГО РЕЗЕРВУВАННЯ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

УДК 62-503.56:621.717

Приведено формалізовану методику розрахунку часового технологічного ланцюга. Наведені математичні моделі елементів часової структури при виконанні вузлового складання. Зазначені шляхи забезпечення експлуатаційної надійності технологічної системи в реальних умовах експлуатації за рахунок внутрішніх резервів, зокрема часових.

Ключові слова: автоматизовані виробничі системи, експлуатаційна надійність, часові технологічні ланцюги, часове резервування.

Вступ

Сучасний рівень технічного прогресу, використання досягнень науки і техніки у виробництві, вимоги до підвищення якості виробництва, зокрема сільгоспмашинобудування, визначають необхідність удосконалення структури технологічного процесу складання (ТПС), так як складання є заключним і визначальним етапом виробничого процесу, що забезпечує технічні характеристики виробів і їхню якість. При виборі варіантів структур ТПС великого значення набуває рішення задачі синтезу і поетапного аналізу і оцінки ефективності проектних рішень. Якісно різні операції мають різну тривалість їх виконання. Таким чином, при різній тривалості суміжні операції або поглинають, або накопичують оборотний заділ, що у свою чергу приводить до простою устаткування, або до міжопераційного лежання деталей у черзі перед устаткуванням. Час протікання виробничого процесу характеризується тривалістю виробничого циклу ($T_{ц}$), часом простою робочих місць ($t^{пр}$) і часом міжопераційного лежання предметів праці у виробництві ($t^{мо}$) [1]. Виявлені закономірності побудови часової структури ТПС у залежності від трудомісткості виконання складальних операцій дозволили формалізувати процес утворення часу простою устаткування і часу міжопераційного лежання виробів праці у виробництві [2].

Для наочності реалізацію отриманих математичних моделей продемонструємо на прикладі побудови довільної часової структури, представленій на рис. 1.

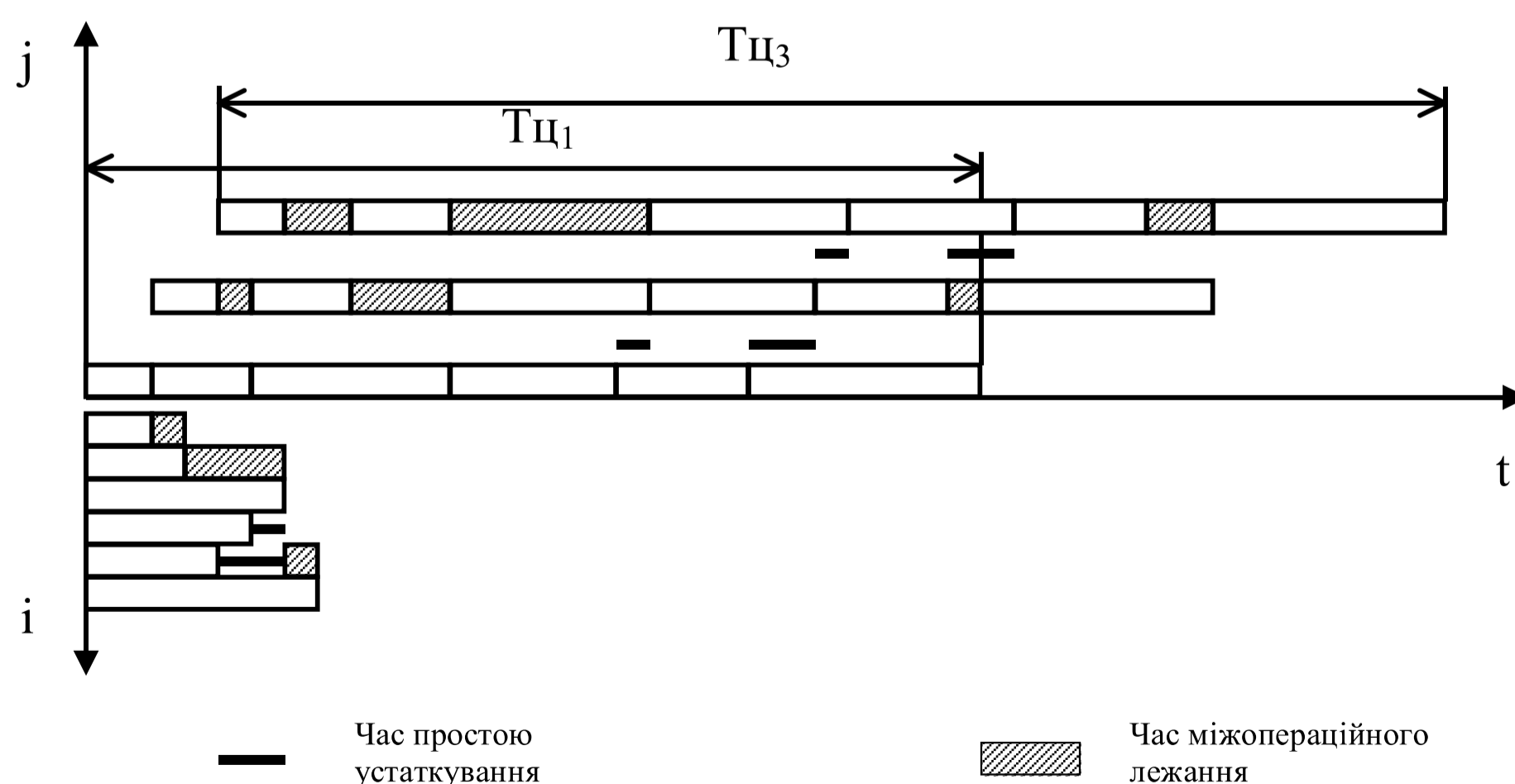


Рис.1 - Циклограма часової структури складання виробу: t – тривалість виконання операцій ТПС; j – кількість входжень у ТПС; i – номер операції в послідовності проходження ТПС.

Розглянуті в [3] типові структури є сценарієм розвитку часової складової ТПС у динаміці. При моделюванні часової структури трудомісткість виконання операцій ТПС представляється у виді масиву даних часу виконання кожної операції. Вихідними даними моделювання є масиви часу (t^{pp}) та (t^{mo}). У загальному випадку масиви даних будуть мати вид згідно рис. 2.

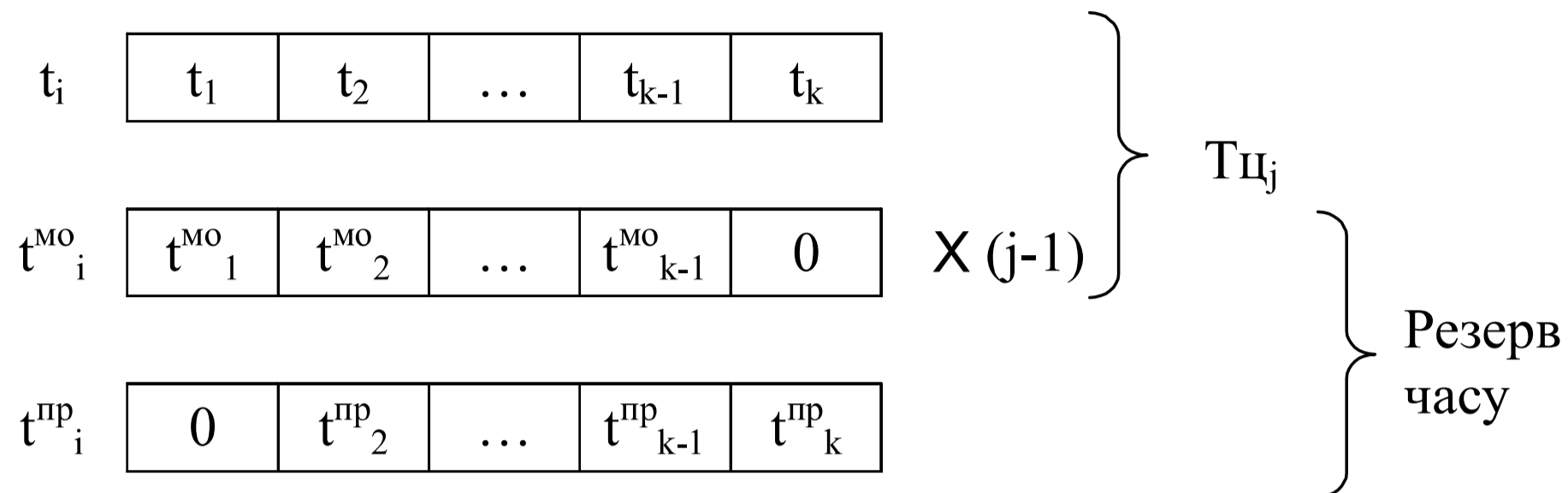


Рис.2 - Матриця часу ТПС

Час циклу ТП визначається як сума елементів масивів t_i і t^{mo}_i :

$$T_{цj} = \sum_{i=1}^k t_i + \sum_{i=1}^{k-1} t_{ij}^{mo},$$

де t^{mo}_{ij} – час міжопераційного лежання на i -тій операції ТПС, при j -ом входженні в нього.

Постановка проблеми

Розглянемо ситуацію ТПС із наявністю вузлового складання, тобто наявністю рівнобіжних часових технологічних ланцюгів.

При наявності в часовій структурі складання рівнобіжних ланцюгів на типову часову схему складання (ЧСС) накладається ряд обмежень. Розрахунок необхідно робити згідно розробленого графа ЧСС. При створенні графа ЧСС приймався ряд допущень, а саме:

- вхідною інформацією для графа ЧСС є технологічна схема складання виробів (ТССВ), прийнята в якості раціональної в даних виробничих умовах, згідно коефіцієнта виду схеми складання $K_{вс}$ [4];
- граф ЧСС є рівневим і орієнтованим;
- нижній рівень відповідає рівню деталей або складальних одиниць (СО) а верхній рівню виробу;
- у вузлах графа розташовані деталі (СО), а ребрами графа є тривалість виконання складальних операцій;
- на одному рівні графа в СО може входити одночасно не більш двох деталей чи СО;
- ребра графа, що сходяться в СО є рівноважними, незалежно від рівня, з якого вони вийшли;
- у розрахунках часової схеми складання часові ланцюги, що дублюються, ігноруються.

Для наочності дослідження проілюструємо на прикладі ТССВ змішаного структурного виду (рис. 4).

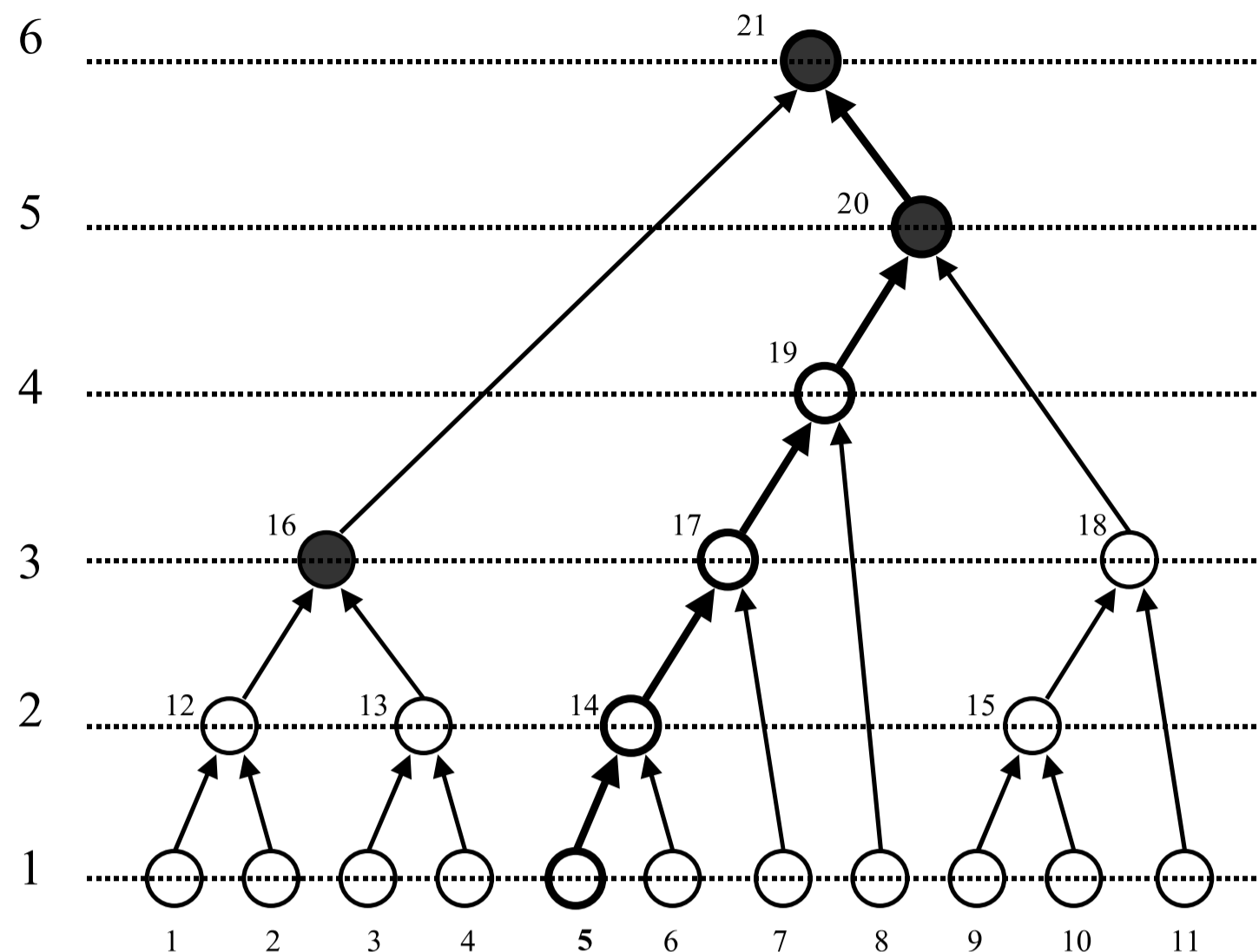


Рис.4 - Граф ЧСС для ТССВ змішаного структурного виду

У даному випадку до складу виробу входить 11 деталей або СО першого рівня (СО надійшли в ТПС із зовнішньої технологічної системи). Граф ЧСС складається із шести рівнів. Рівень №6 є рівнем виробу, рівень №1 відповідає рівню деталей і СО першого рівня. Подальша нумерація СО відбувається послідовно з другого рівня до шостого. У графі виділяються часові технологічні ланцюги, основними вимогами до якої є наявність вершин на другому і верхньому рівні (необхідна умова існування часового технологічного ланцюга (ЧТЛ)):

$$A_{\zeta} = \{a_{\gamma}^y\} \in X^1 \cup X^2 \cup X^6,$$

де a – вузол графа ЧСС ;

X – множина вузлів графа ЧСС , розташованих на одному рівні:

$$X^6 = \{a_1^6\}, \dots, X^2 = \{a_1^2, a_2^2, a_3^2\}, X^1 = \{a_1^1, a_2^1, \dots, a_{11}^1\}.$$

Верхнім індексом вузла графа є порядковий номер вузла в межах рівня, а нижнім індексом є номер рівня. У даному випадку в графі ЧСС присутні 4 ЧТЛ, що відповідають необхідній умові існування (рис. 5):

$$\begin{aligned} A_1 - 1 \rightarrow 12 \rightarrow 16 \rightarrow 21 & \quad A_3 - 5 \rightarrow 14 \rightarrow 17 \rightarrow 19 \rightarrow 20 \rightarrow 21 \\ A_2 - 3 \rightarrow 13 \rightarrow 16 \rightarrow 21 & \quad A_4 - 9 \rightarrow 15 \rightarrow 18 \rightarrow 20 \rightarrow 21 \end{aligned}$$

Рис.5 - ЧТЛ графа ЧСС

З метою автоматизації процедури визначення ЧТЛ, що є присутнім у графі ЧСС , останній доцільно представити у виді матриці зв'язків виробу (рис. 6).

Процедура створення матриці така: рядок матриці – деталі і СО , що сходять до складу СО; стовпці матриці – СО в які входять деталі і СО; на початку матриця «нульова»; при входженні деталі (СО) у СО на перетинанні рядка і стовпця, що відповідає їх порядковим номерам ставиться «1».

У кожний ЧТЛ, що відповідає необхідній умові існування вноситься трудомісткість кожної ланки ланцюга (час виконання складальної операції). З отриманих ЧТЛ визначається домінуючий ланцюг. Відповідно достатній умові (максимальна довжина):

$$\sum_{a=1}^x t_a \Rightarrow \max.$$

	Деталі											Складальні одиниці									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Деталі	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Складальні одиниці	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Рис.6 - Матриця зв'язків виробу

Часова структура в цьому випадку будується по домінуючому ланцюгу (рис.7), що задає тривалість виробничого циклу.

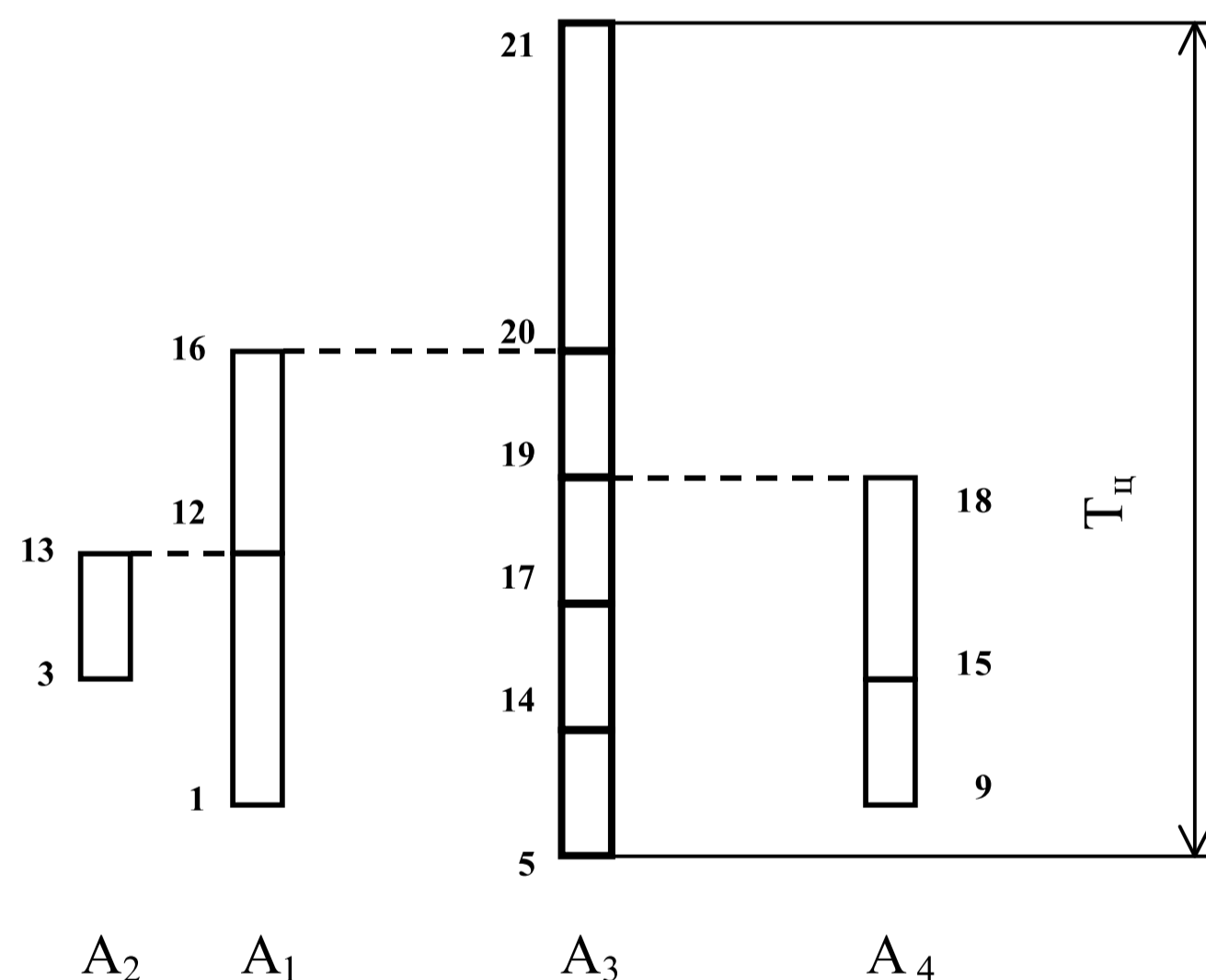


Рис.7 - Часова схема складання виробу

Для розрахунків один з часових ланцюгів вибирається в якості основного, а інші ланцюги переходять у розряд рівнобіжних. У розрахунках основного часового ланцюга рівнобіжні ЧТЛ виступають у якості локальних послідовних ланок основного ланцюга.

При проведенні наукових досліджень було встановлено, що в рівнобіжні ЧТЛ на основний ланцюг впливають тільки лімітуючими операціями (які мають максимальну тривалість), що задають такт випуску СО в рівнобіжному складанні виробу (рис. 8).

У середині рівнобіжного ланцюга утворення часу простою устаткування і часу міжопераційного лежання формується згідно залежностей [2]. При наявності в ТПС рівнобіжних складань, у залежності від трудомісткості складальних операція можлива поява збільшення часу міжопераційного лежання або в основному ланцюзі (1), або в рівнобіжних ланцюгах (2).

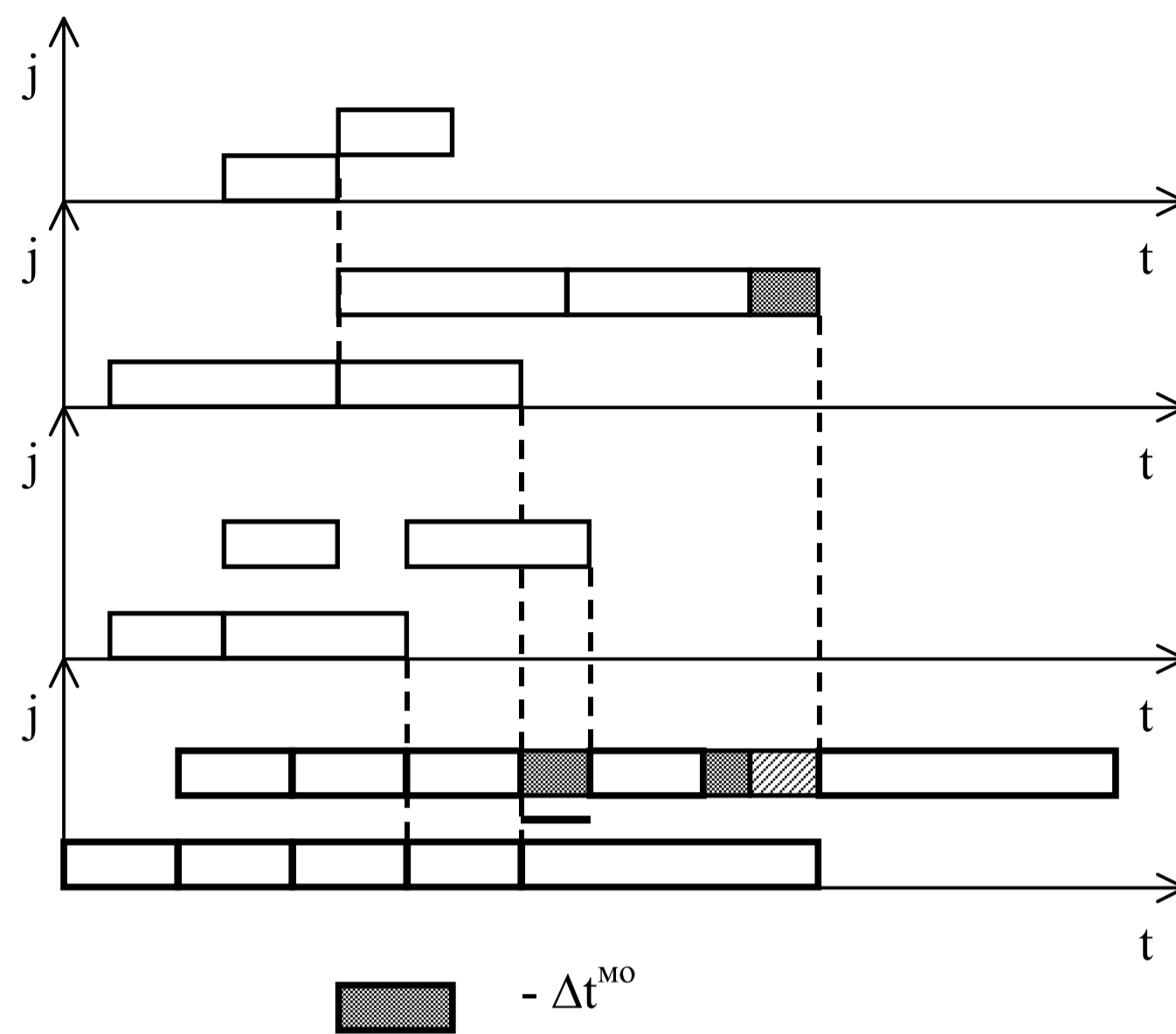


Рис.8 - Циклограма основного і рівнобіжного складання виробу по основному А₃

$$\Delta t_{ij}^{MO} = \begin{cases} (t'_i - t_{\max}) \cdot (j - 1), & \text{при } t_{\max} < t'_i \\ 0, & \text{при } t_{\max} > t'_i \end{cases} \quad (1)$$

де $t_{\max} \in [t_1, t_{(i+1)}]$, $j = 1, n$

$$\Delta t_{ij}^{MO'} = \begin{cases} (t_{\max} - t'_i) \cdot (j - 1), & \text{при } t_{\max} > t'_i \\ 0, & \text{при } t_{\max} < t'_i \end{cases} \quad (2)$$

де $t_{\max} \in [t_1, t_i]$, $j = 1, n$

Процедура утворення даного добутку відбувається згідно рис.9-12, у залежності від вибору основного часового ланцюга.

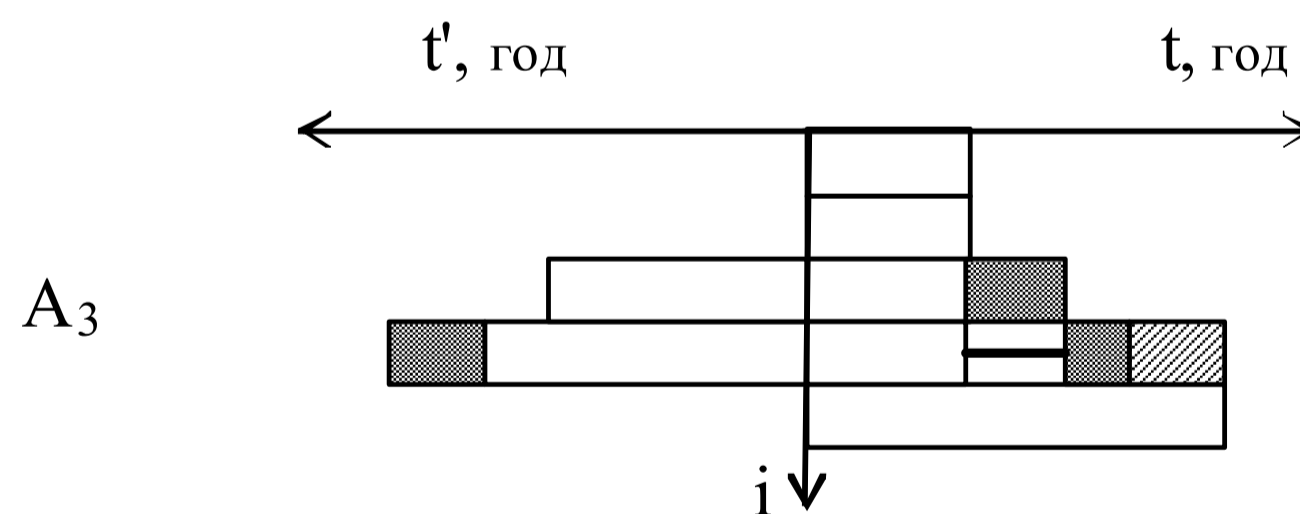


Рис.9 - Варіант часової структури ТПС по ЧТЛ А₃

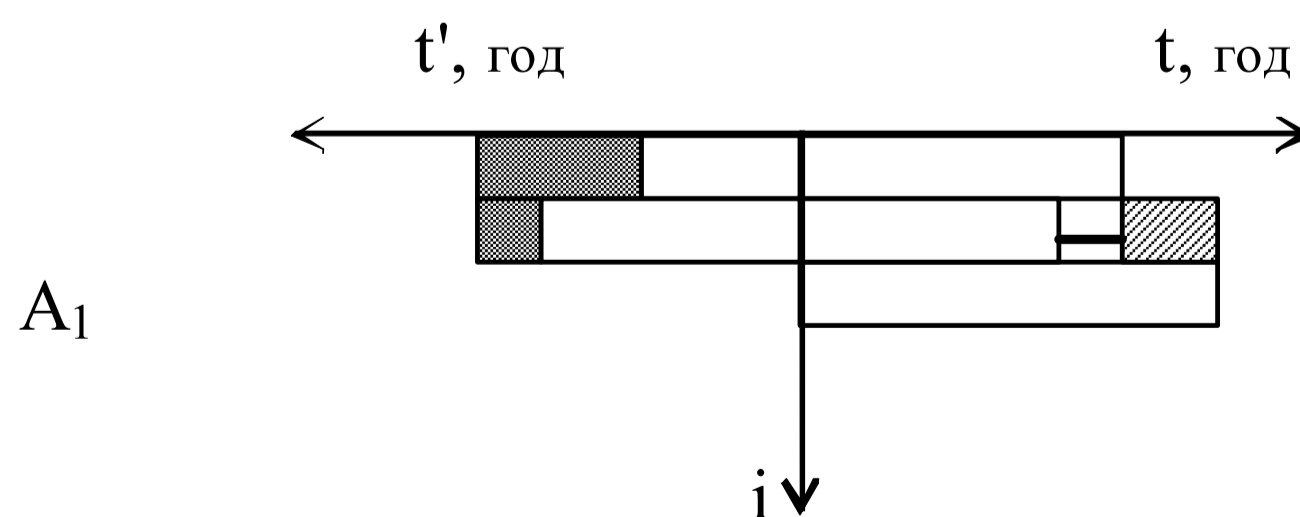


Рис.10 - Варіант часової структури ТПС по ЧТЛ А₁

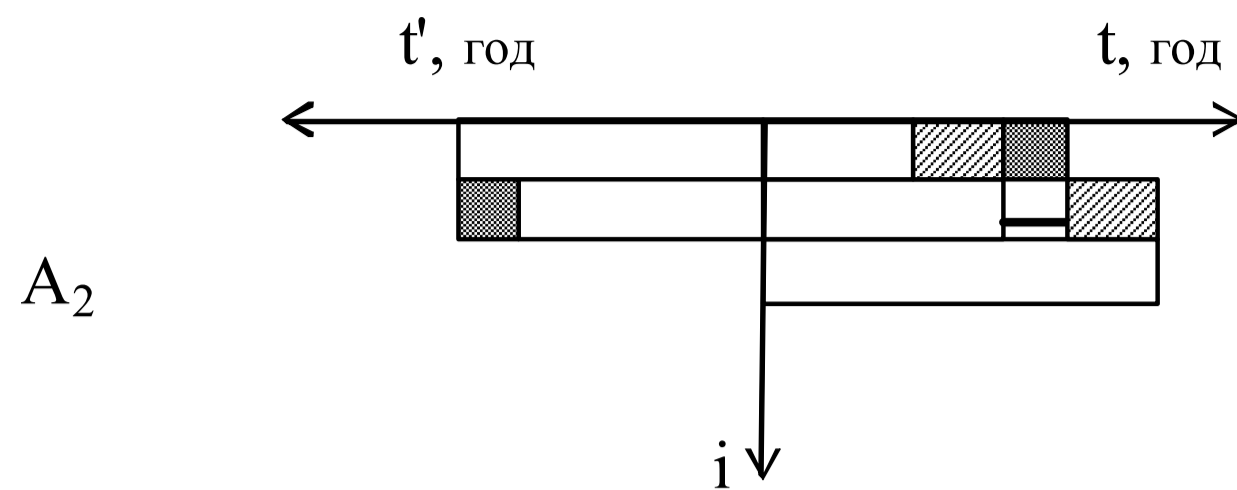


Рис.11 - Варіант часової структури ТПС по ЧТЛ А₂

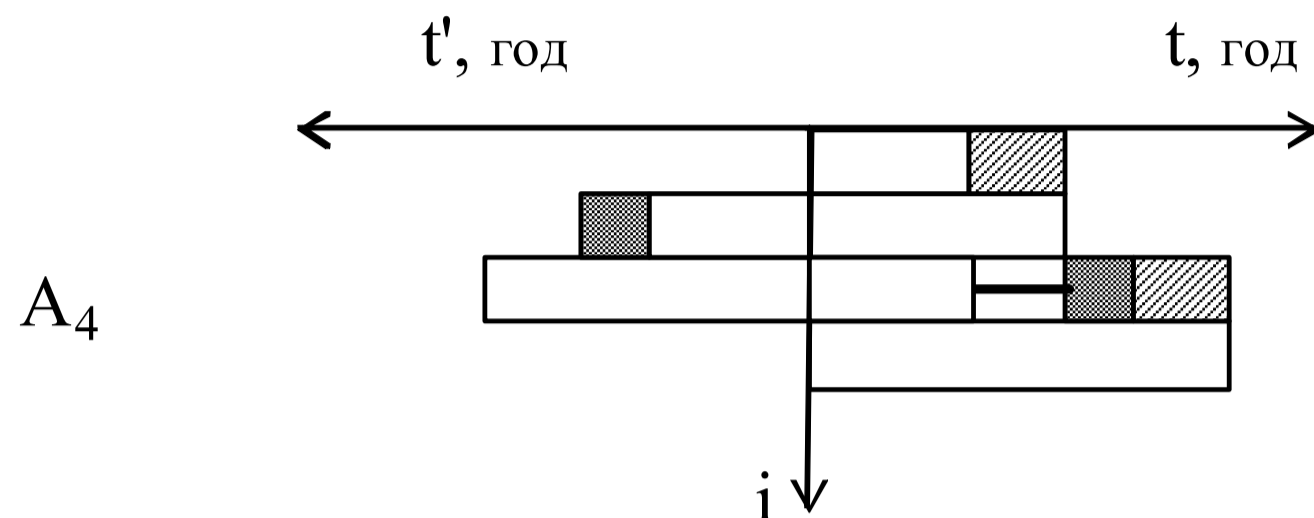


Рис.12 - Варіант часової структури ТПС по ЧТЛ А₄

На рисунках 9-12 прийняті позначення: t – час виконання операцій в основному ланцюзі; t' – час виконання операцій у рівнобіжних ланцюгах.

Результати досліджень

Дана ілюстрація наочно показує, що змінити часову структуру складання можливо шляхом вибору варіанта часової схеми складання виробу, згідно вибору основного часового технологічного ланцюга.

Елементи масивів (t^{np}) та (t^{mo}) є поповнюваним часовим резервом при виконанні операцій. Крім того t^{mo}_i – кумулятивний резерв часу. У загальному виді часовий резерв при виконанні i -ої операції при j -ом входженні в ТПС буде дорівнює:

$$\Delta t_{ij}^{pez} = t_{ij}^{mo} + t_i^{np}$$

Наробіток до відмови такої системи, за період експлуатації $t_{екс}$, можна зобразити у виді графіка використання резерву часу t_p (рис. 13).

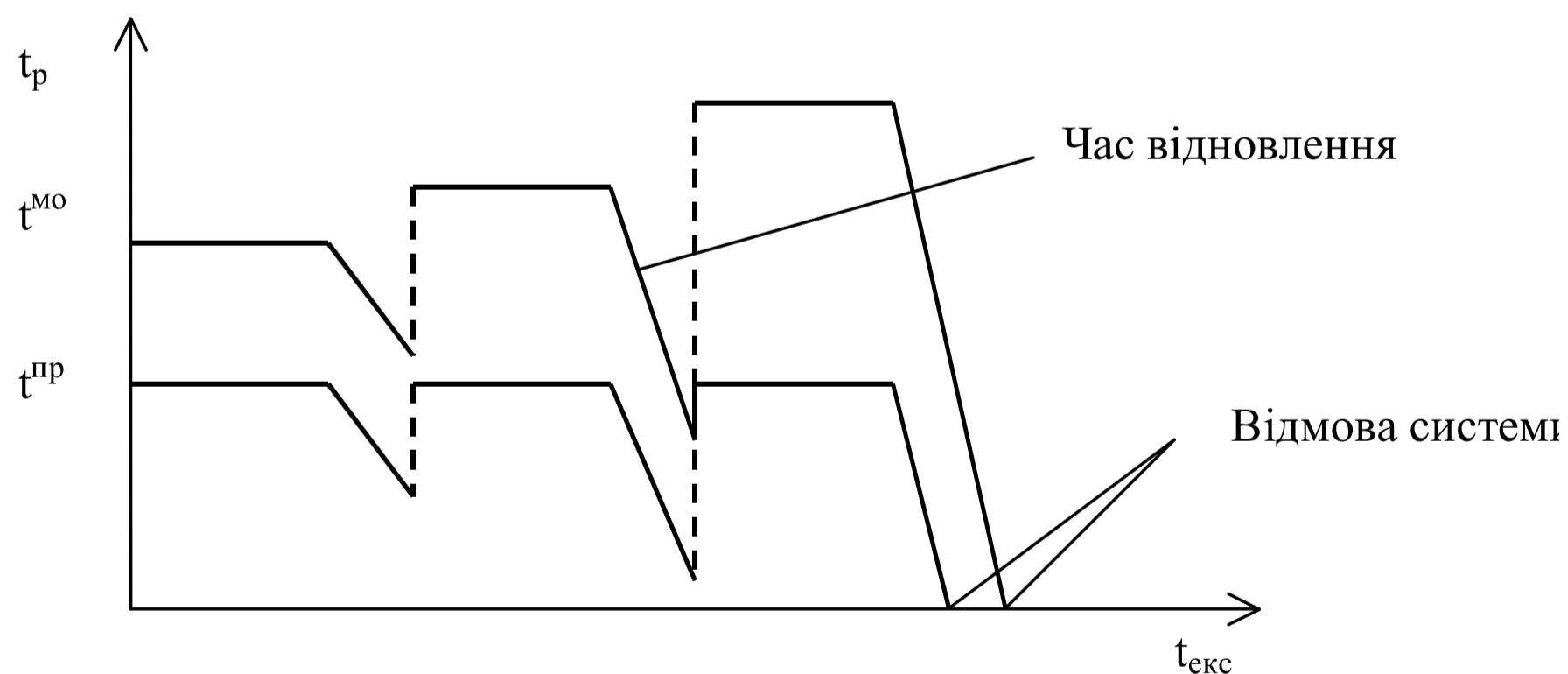


Рис.13 - Наробіток на відмову системи з резервом часу

Критерієм оцінки надійності був прийнятий комплексний показник - коефіцієнт готовності обладнання:

$$Kz_i = \frac{\sum_{j=1}^n (t_{ij} / k_{zi} + \Delta t_i^{sidn})}{\sum_{j=1}^n (t_{ij} / k_{zi} + (\Delta t_i^{sidn})^2)}$$

де $\Delta t^{відн}$ - час відновлення після відмови:

$$\Delta t_i^{відн} = \left[\Delta t_i^{над} - (t_i^{np} + t_{ij}^{mo}) \right] \cdot \lambda_i = (\Delta t_i^{над} - \Delta t_i^{pez}) \cdot \lambda_i;$$

λ_i - потік відмов на i -му обладнанні;

k_{zi} - коефіцієнт завантаження i -го обладнання.

Так як час простою обладнання і час міжопераційного лежання, є часовим резервом Δt^{pez} , і якщо $\Delta t^{відн}$ вкладається в цей резерв, то відмова обладнання не впливає на ритмічність протікання ТП. З іншої сторони підвищується собівартість складальної операції, та підвищуються капітальні витрати у накопичувальних системах і незавершеному виробництві. Таким чином необхідно було економічно-обґрунтувати присутність t^{np} та $t^{m.o.}$.

Для визначення раціонального значення часового резерву була розроблена математична модель приведених витрат:

$$S_{прив} = \sum_{i=1}^k C_i + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k m_{nij} \cdot \left(\sum_{\zeta=1}^i C_{\zeta} + M_n \right)$$

де: C – операційна собівартість, грн.;

m_{nij} - незавершене виробництво в натуральному вигляді привиконання i -ї складальної операції при j -му входженні в ТПС, шт:

$$m_{nij} = \text{ceil} \left(\frac{t_{ij}^{m.o.}}{t_{(i+1)}} \right),$$

функція *ceil* округляє результат у дужках до більшого цілого;

M_n - сукупні початкові матеріальні витрати на складання виробу, грн.

Для раціональної організації виробництва необхідно в комплексі оцінювати вплив всіх елементів часу технологічного процесу, на економічні показники і показники надійності експлуатації, з огляду на наслідки мінімізації. Це дозволяє розкрити і використувати для забезпечення нормального функціонування систем внутрішні резерви (зокрема, часові), закладені в самих системах.

Висновки

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблений метод синтезу раціональних варіантів технологічних процесів складання виробів, що дозволяє на етапі підготовки виробництва класифікувати існуючі варіанти часових структур ТПС та визначити раціональний завдяки розробленому алгоритму. Використовуючи розроблені математичні моделі часу простою устаткування і часу міжопераційного лежання, на підставі типових часових структур, з'являється можливість прогнозування ефекту експлуатації складальної системи в реальних виробничих умовах з урахуванням динаміки розвитку процесу складання.

Література:

1. Konoplyanchenko, E. Rational syntheses of technological processes of assembly [Text] / E. Konoplyanchenko, N. Zakharov, O. Radchuk, V. Yaremenko // Technical Papers of ISA: Integrated Manufacturing Solutions Real-Time Manufacturing Strategies. – 2002. – Vol. 432. – P. 109–118.
2. Коноплянченко Є.В. Технологічно-організаційні методи забезпечення надійності експлуатації автоматизованих виробничих систем/Коноплянченко Є.В., Герасименко В.О., Колодненко В.М., Ребрій А.М., Рибенко І.О.// Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. - 2016. – № 5. - С. 38-42.

3. Konoplyanchenko E. The optimization of time technological chains. Proc. of The Second European Conference on Intelligent Management Systems in Operations, University of Salford. U.K. (3-4 july 2001)
4. Захаров Н.В. Синтез технологических процессов в условиях гибких автоматических производственных систем// Автоматическое управление и оптимизация технологических процессов. – М.: ЛДНТП, 1984. – С.30-34.

Summary

Ie. Konoplianchenko, Ya. Chibiryak, V. Kolodnenko. Features of time reservation in ensuring reliability of complex systems

Changing an organization of moving the products during constantly brings about one and same results: changes a total idle time values of equipment, changes duration of production cycle, and changes a total wait time of items that brings about work-in process change. The analysis of time structures of technological processes has allowed choosing typical structures, which are appropriate to various kinds of specialization of manufacture. The interrelation of time, reliability and cost parameters is considered and the ways of optimization of time technological chains are specified.

For rational organization of production must together assess the impact of all the process time elements, economic performance and reliability of operation, due to the effects of minimization. This allows you to discover and use to ensure proper functioning of internal resources (including time) inherent in most systems.

The practical significance of the results is that the method of synthesis of rational choices assembly of technological processes, allowing production in preparation categorize existing time structures options and to determine through rational designed algorithm. Using mathematical models of equipment downtime and inter-operation time lying on the basis of standard time structures, there is the ability to predict the effect of the operation of the building system under real production conditions, taking into account the dynamics of the process of drafting.

Keywords: *automated production systems, operational reliability, time process chains, time reservation.*

References

1. Konoplyanchenko, E. Rational syntheses of technological processes of assembly [Text] / E. Konoplyanchenko, N. Zakharov, O. Radchuk, V. Yaremenko // Technical Papers of ISA: Integrated Manufacturing Solutions Real-Time Manufacturing Strategies. – 2002. – Vol. 432. – P. 109–118.
2. Konoplyanchenko E.V. Tehnologichno-organizatsiyni metodi zabezpechennya nadiynosti ekspluatatsiyi avtomatizovanih virobnichih sistem/Konoplyanchenko E.V., Gerasimenko V.O., Kolodnenko V.M., Rebriy A.M., Ribenko I.O.// Tehnichniy servis agropromislovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv. - 2016. – # 5. - S. 38-42.
3. Konoplyanchenko E. The optimization of time technological chains. Proc. of The Second European Conference on Intelligent Management Systems in Operations, University of Salford. U.K. (3-4 july 2001)
4. Zaharov N.V. Sintez tehnologicheskikh protsessov v usloviyah gibkih avtomaticheskikh proizvodstvennyih sistem// Avtomaticheskoe upravlenie i optimizatsiya tehnologicheskikh protsessov. – М.: LDNTP, 1984. – S.30-34.