

КОНСТРУЮВАННЯ БАГАТОРІВНЕВОЇ СКЛАДНОЇ АГРЕГАТОВАНОЇ СИСТЕМИ (САС)

Дане конструювання багаторівневої виробничої системи полягає в тому, що знаходження екстремальних значень критеріїв оптимальності кожного наступного рівня виробничої системи здійснюється з урахуванням екстремальних значень критеріїв оптимальності кожного попереднього рівня. При цьому допускається існування як абсолютних (що малоімовірно), так і умовних (які, як правило, спостерігаються) екстремумів в технологічно обумовлених межах області варіювання факторів.

З метою обмеження розмірності задачі, конструювання моделі розглянемо на прикладі технологічного рівня гнучкої комп'ютеризованої системи (ГКС) складання, представивши його, в свою чергу, у вигляді трирівневої структури складального комплексу. В якості першого рівня приймаємо технологічний процес, що реалізується, в якості другого – процес функціонування складальних (технологічних) модулів, в якості третього рівня – функціонування складальної системи. Кожен із названих рівнів може бути описаним кількома цільовими функціями f_{ij} , що залежать від вектора параметрів \bar{X}_i із області допустимих значень D_i варіюваних параметрів, де i – номер рівня ($i=1,3$); j – порядковий номер цільової функції на i -му рівні.

Таким чином, в загальному випадку, на кожному рівні ми маємо векторний критерій оптимальності та векторну цільову функцію. Тоді, згідно запропонованому методу, векторний критерій оптимальності першого рівня може бути представлено у вигляді:

$$F_1(\bar{X}_1) = (f_{11}(\bar{X}_1), \dots, f_{1m}(\bar{X}_1)) \rightarrow opt, \quad (1)$$

де m – кількість цільових функцій першого рівня; вектор параметрів \bar{X}_1 належить області D_1 допустимих значень варіюваних параметрів, в даному випадку, режимів складального процесу.

Векторний критерій оптимальності другого рівня має вигляд:

$$F_2(\bar{X}_2, \bar{f}_1^*) = (f_{21}(\bar{X}_2, \bar{f}_1^*), \dots, f_{2n}(\bar{X}_2, \bar{f}_1^*)) \rightarrow opt, \quad (2)$$

де n – кількість цільових функцій другого рівня; вектор параметрів \bar{X}_2 належить області D_2 допустимих значень параметрів, що представляють в моделі другий рівень системи, вектор параметрів \bar{f}_1^* – оптимальні (або квазіоптимальні) значення критеріїв попереднього, в даному випадку, першого рівня.

Аналогічно представляємо векторний критерій оптимальності третього рівня:

$$F_3(\bar{X}_3, \bar{f}_2^*) = (f_{31}(\bar{X}_3, \bar{f}_2^*), \dots, f_{3l}(\bar{X}_3, \bar{f}_2^*)) \rightarrow opt, \quad (3)$$

де l – кількість цільових функцій третього рівня; вектор параметрів \bar{X}_3 належить області D_3 допустимих значень параметрів третього рівня системи, вектор параметрів f_3^* – оптимальні значення критеріїв другого (або будь-якого попереднього) рівня.

Як видно з (1)–(3), пошук оптимальних значень параметрів кожного наступного рівня здійснюється з урахуванням критеріїв оптимальності попереднього рівня. Завдяки взаємозв'язку критеріїв оптимальності суміжних рівнів, уявляється можливим знаходження таких екстремальних значень цільових функцій кожного рівня, які забезпечать роботу в оптимальному режимі системи в цілому. Віднаходження такого рішення реалізуємо, якщо критерії оптимізації кожного передуючого рівня системи використовувати в якості змінних або констант цільових функцій кожного наступного (вищестоящого) рівня системи.

Розглянемо **два способи** розв'язання поставленої задачі:

1. включенням критеріїв оптимальності кожного попереднього рівня до цільових функцій кожного наступного у вигляді констант;
2. включенням критеріїв оптимальності кожного попереднього рівня до цільових функцій кожного наступного у вигляді змінних (варіюваних) факторів.

Перший спосіб доцільний в тому випадку, коли цільова функція вищестоящого рівня включає надмірне число власних змінних, тобто факторів, що входять до даної цільової функції та варіюються з метою віднаходження оптимального значення даної цільової функції. Причому тут під власними змінними розуміються фактори, що входять лише до цієї цільової функції.

Другий спосіб є більш переважним, якщо число домінуючих по своєму впливу на критерії оптимальності факторів, що входять до цільової функції, не спричиняє суттєвої похибки обчислень при знаходженні екстремуму цільової функції. В цьому випадку критерії оптимальності кожного передуючого рівня можуть бути використані у цільових функціях наступного рівня в якості додаткових варіюваних факторів.

Варто враховувати, що пропонувані способи розв'язання задачі мають різний ступінь адекватності стосовно реальних виробничих систем (комплексів). В тих випадках, коли мають місце пріоритети якого-небудь рівня, перевагу слід надавати першому із запропонованих способів. При відсутності ж таких і достатності квазіоптимального режиму роботи якого-небудь рівня переважним є другий спосіб. Це відповідає принципу узгодження (субоптимальності) часткових (локальних) критеріїв ефективності між собою та загальним (глобальним) критерієм [1,3], котрий зазначає, що для оптимального функціонування системи в цілому не є необхідною оптимізація роботи кожної із її підсистем. Для досягнення загальної мети мають бути узгоджені між собою критерії ефективності кожної підсистеми (причому ці часткові критерії можуть не співпадати з частковими оптимумами).

Реалізація принципу субоптимальності локальних критеріїв ефективності пов’язана з формуванням міжрівневих зв’язків між цільовими функціями різних рівнів. Це пояснюється тим, що при відшуканні оптимуму на даному рівні виникає необхідність зміни значення критерію оптимальності попереднього рівня, тобто критерію, що використовується в даній цільовій функції у вигляді варійованого фактора. Необхідність наявності міжрівневих зв’язків між цільовими функціями пояснюється також і тим, що зміненому значенню критерію оптимальності попереднього рівня мають відповідати значення параметрів того ж рівня моделі.

Що ж стосується власне вирішення даної задачі, як багатокритеріальної задачі оптимізації, то воно пов’язане з пошуком компромісу між критеріями. Існує багато різних принципів конструювання багатокритеріальних компромісів. Визначення таких розв’язків надано в [1,2,4].

Таблиця 1
Критерії оцінки функціонування технологічних рівнів складальної системи

Рівень	Найменування	Критерій оптимальності	Цільова функція (в загальному вигляді)
III	Складальна система (комплекс модулів)	Собівартість складання виробу Фактична продуктивність	C $C(Q_{Ц}, \eta_{ТВ}, C_{Г}, k_{ЗМ}, Ц, \Phi, a, b, T)$ $Q_{\Phi} = Q_{\Phi}(Q_{Ц}, \eta_{ТВ})$
II	Складальні модулі	Циклова продуктивність Коефіцієнт технічного використання	$Q_{Ц} = Q_{Ц}(T_{М}, T_{Д}, k_{dis})$ $\eta_{ТВ} = \eta_{ТВ}(T_{М}, T_{Д}, B)$
I	Процес складання	Машинний час складання лімітуючої операції Допоміжний час	$T_{М} = T_{М}(P, S, A)$ $T_{Д} = T_{Д}(L, V)$
<p><i>Позначення:</i> $\eta_{ТВ}$ – коефіцієнт технічного використання обладнання; $C_{Г}$ – погодинна тарифна ставка оператора; a – цехові накладні витрати; b – експлуатаційні витрати; $k_{ЗМ}$ - коефіцієнт змінності роботи обладнання; $Ц$ – вартість обладнання; Φ – річний фонд часу експлуатації обладнання при однозмінному режимі роботи; T – строк використання обладнання; k_{dis} – коефіцієнт дисбалансу оперативного часу (відношення різниці екстремальний значень операційного часу до його середнього значення); B – тривалість відновлення роботи обладнання; P, S, A – режими складання з активною корекцією сполучуваних деталей, відповідно: навантаження складання, крок і амплітуда корекції відносного положення; L- величина і V – швидкість допоміжних переміщень складального модуля.</p>			

Тут же, в першу чергу, відобразимо структуру міжрівневих зв'язків числом і виглядом критеріїв оптимальності параметрів функціонування кожного з рівнів складальної системи. Так, якщо технологічну частину складальної ГВС подати у вигляді трьох рівнів, а саме: I-й (нижній) рівень – процес сполучення складальних компонентів; II-й рівень – складальні модулі; III-й рівень – комплекс складальних модулів, тобто складальна система в цілому (у сенсі її технологічної частини), то оцінку ефективності функціонування кожного з наведених рівнів можна виконати за допомогою критеріїв оптимальності наведених у таблиці.

Як видно із наведеної таблиці, цільові функції кожного наступного рівня включають у вигляді параметрів критерії оптимальності попереднього рівня системи, що забезпечує їх параметричний взаємозв'язок. Явний вигляд цих зв'язків визначається нижче наведеними виразами цільових функцій у формалізованій постановці задачі оптимізації стосовно кожного із рівнів системи.

Так, на рівні лімітуючої по часу складальної позиції задача оптимізації може бути записана за допомогою емпіричної залежності машинного часу корекції відносного положення складальних компонентів:

$$T_M = C_0 P^\alpha A^\beta S^\varepsilon \rightarrow \min, \quad (4)$$

при $P \in \{P\}$; $A \in \{A\}$; $S \in \{S\}$;

де C_0 – постійний коефіцієнт, що враховує вплив факторів, не відображених у функції; $\alpha, \beta, \varepsilon$ – показники степеня, що характеризують вплив режимів корекції на час сполучення компонентів. Області допустимих значень $\{P\}, \{A\}, \{S\}$ обумовлюються технологічно обґрунтованими режимами складання стосовно конкретного виду і квалітету точності сполучення.

Величина необхідного для здійснення складання допоміжного часу $T_{Дк}$ на k -й складальній позиції визначається відстанями доставки складальних компонентів і значеннями швидкості органів складального пристрою при виконанні допоміжних рухів, передуючих процесу сполучення деталей. З цього випливає, що цільова функція допоміжного часу (за умови рівномірності переміщень) може бути представлена у вигляді:

$$T_{Д} = \sum_{k=1}^g \overline{L}_k / \overline{V}_k \rightarrow \min, \quad (5)$$

при $L_k \in \{L\}$; $V_k \in \{V\}$;

де \overline{L} – вектор відстаней на лімітуючій позиції; \overline{V} – вектор швидкостей; g – кількість допоміжних рухів, здійснюваних на складальній позиції; області допустимих значень $\{L\}$ та $\{V\}$, визначаються технологією виконання складання і конструктивними особливостями використовуваного обладнання.

Згідно даного методу, як вказано вище, критерії оптимальності першого рівня входять в якості параметрів до цільових функцій другого рівня системи. Так машинний і допоміжний час, утворюючи разом операцій-

ний час, у формі останнього відображені в цільових функціях циклової продуктивності та коефіцієнта технічного використання складальних модулів відповідно:

$$Q_{Ц} = q / [k_{dis}(T_{ОП}^{lim} + \sum_{k=1}^q T_k) + qT_{min}] \rightarrow \max, \quad (6)$$

$$\eta_{ТВ} = 1 - \{T_{ОП}^{lim}(T_{ОП}^{lim} / \sum_i \sum_j B_{ij} - 1) / (T_{рем} + T_{обсл}) + 1\}^{-1} \rightarrow \max, \quad (7)$$

при $T_m \in \{T\}$; $T_{рем} + T_{обсл} = \text{const}$; $\min = \text{const}$;

$$T_{\partial} \in \{T\}; B_{ij} = \text{const}; k_{dis} = \text{const};$$

де q – число складальних модулів; $T_{ОП}^{lim} = T_M + T_D$, T_{min} , T_k – операційний час, відповідно, лімітуючої позиції, мінімальний та k -того складального модуля; B_{ij} – середній час відновлення роботи i -того складального пристрою j -тої позиції; $T_{рем}$, $T_{обсл}$ – плановий час ремонту і обслуговування обладнання, відповідно; k_{dis} – див. табл. 1.

Варто одначе відмітити, що при строгому підході час відновлення роботи, ремонт та обслуговування обладнання не є величинами детермінованими, а коефіцієнт технічного використання визначається як відношення математичного очікування часу перебування обладнання в працездатному стані за деякий період експлуатації до суми математичних очікувань часу перебування обладнання в працездатному стані та часу простоїв, обумовлених технічним обслуговуванням і ремонтами за той же період експлуатації. Використання усереднених планових показників вказаних параметрів робить припустимим розглядання їх як величин детермінованих.

Таким чином, стосовно другого рівня складальної системи розв’язується задача забезпечення максимальної циклової продуктивності при найбільшому коефіцієнті технічного використання складального обладнання (в реальних межах $\eta_{ТВ} = 0, 70 \dots 0, 95$). Обидва вказані критерії визначають фактичну продуктивність системи, що в сукупності з критерієм собівартості складання виробів відображає постановку задачі оптимізації параметрів функціонування технологічної системи у взаємопов’язаному з попередніми рівнями вигляді:

$$C = \{C_z(1 + 0, 01a) + (Ц/k_{ЗМ}\Phi\eta_{ТВ})(T^{-1} + 0, 01b)\} / m_p Q_{Ц} \rightarrow \min; \quad (8)$$

$$Q_{\Phi} = m_p \eta_{ТВ} Q_{Ц} \rightarrow \max; \quad (9)$$

при $Q_u \in \{Q\}$; $(C_z, Ц, k_{ЗМ}, \Phi, T, a, b, m_p) = \text{const}$;

$$0.70 \leq \eta \leq 0.85,$$

де m_p – коефіцієнт розмірності; решту констант див. табл. 1.

Вирази (4) – (9) ілюструють задачу оптимізації складальної системи як багатокритеріальну задачу, вирішення якої пов’язане з пошуком компромісу між критеріями. Невизначеності, що виникає при цьому, можна уникнути, якщо при пошуку екстремальних значень цільових функцій кожного наступного рівня враховувати екстремальні значення критеріїв оптимальності кожного попереднього рівня системи.

Розглянемо реалізацію запропонованого метода на 2-х прикладах складальної системи у вигляді роботизованої лінії складання стрічкопротяжних механізмів. Лінія являє собою сукупність восьми послідовно розташованих вздовж асинхронного транспортера складальних модулів. Кожен модуль включає в себе складальний маніпулятор, завантажувальні пристрої, палету-супутник з базовим вузлом (шасі стрічкопротяжного механізму), комплект технологічного оснащення та управляючий контролер, зв’язаний з центральною системою керування лінією.

В якості вихідних умов автоматизованого проектування були прийняті наступні обмеження параметрів цільових функцій (4) - (9):

– стосовно першого рівня (задача мінімізації машинного часу) інтервали варіювання режимів складання склали:

$$5,0\text{Н} < P < 30,0\text{Н};$$

$$0,70 \cdot 10^{-3}\text{м} < A < 3,60 \cdot 10^{-3}\text{м};$$

$$0,01 \cdot 10^{-3}\text{м} < S < 0,60 \cdot 10^{-3}\text{м}.$$

Вказані обмеження визначаються квалітетами точності сполучуваних поверхонь складальних компонентів, з однієї сторони, і граничними значеннями сумарної похибки позиціонування функціональних пристроїв складальних модулів лінії, з іншої;

– для другого рівня (задача оптимізації операційного часу):

$$25 \text{ с} < T_{\text{оп}} < 75 \text{ с};$$

– для третього рівня системи: задача визначення умов мінімальної собівартості при максимально можливому значенні коефіцієнта технічного використання обладнання вирішена при обмеженнях:

$$0,70 \leq \eta \leq 0,95;$$

$$80 \text{ шт/год} < Q_{\text{ц}} < 144 \text{ шт/год};$$

Обмеження змінних другого і третього рівнів системи обумовлені вимогами умовного технічного завдання, що відповідає реальним умовам ГВС.

Приклад 1

На рис. 1 показані графо-аналітичні залежності зміни циклової продуктивності і коефіцієнта технологічного використання в залежності від операційного часу складання по різних позиціям автоматичної лінії.

Як видно із графіків, досягнення максимальної продуктивності $Q_{Ц} = 144$ шт/год в межах технологічно обґрунтованого операційного часу недоцільне, оскільки вказаному значенню $Q_{Ц}$ буде відповідати доволі низьке значення коефіцієнта технічного використання $\eta_{ТВ} = 0,54$. В результаті це призведе до зниження фактичної продуктивності внаслідок зростання потоку відмов і позациклових втрат часу роботи лінії складання. Не уявляється можливим також і збереження максимального значення коефіцієнта технічного використання $\eta_{ТВ} = 0,95$, котре досягається за рахунок зниження продуктивності до $Q_{Ц} = 48$ шт/год, що не задовольняє завданню річної програми випуску. Точка перетину кривих $Q_{Ц}$ і $\eta_{ТВ}$ відображає оптимальне поєднання вказаних критеріїв. Значення операційного часу $T_{ОП} = 36$ с слід вважати оптимальним, оскільки при цьому забезпечується збільшення продуктивності на 71,6% по відношенню до мінімально припустимої циклової продуктивності 60 шт/год (див. рис. 1).

Крім того лімітуючий операційний час складання на лінії, як видно з графіка, складає в даному випадку $T_{ОП} = 36$ с. Оскільки даний параметр є одночасно і критерієм (в частині машинного часу T) першого рівня системи, то згідно з ним і проводиться корекція режимів складання (P, S, A) до забезпечення $T_M = T_{ОП} - T_D$.

Таким чином, завдяки багаторівневій оптимізації, в результаті взаємодії критеріїв першого і другого рівнів складальної системи досягнуто їх оптимальне співвідношення, яке забезпечує мінімально можливий операційний час складання, з однієї сторони, і максимально припустиме значення продуктивності при задоволенні останньою значення коефіцієнта технічного використання обладнання.

Приклад 2

На рис. 2 показані графіки зміни критеріїв оптимальності функціонування складальної лінії – фактичної продуктивності та собівартості складання виробу в залежності від циклової продуктивності модулів складальної системи. Як видно із результатів моделювання, одночасне забезпечення максимальної фактичної продуктивності і мінімальної собівартості складання виробів (що відповідає точці $Q_{Ц}^{\max} = 144$ шт/год) – неможливе внаслідок погіршення значення коефіцієнта технічного використання, як показника надійності при підвищенні інтенсивності експлуатації обладнання.

Як видно із наведених графіків (рис. 2), можливих розв’язків, що відповідають різним рівням надійності (якщо судити про останню через коефіцієнт $\eta_{ТВ}$) та циклової продуктивності, може бути декілька. Їм відповідають точки перетину графіків собівартості і фактичної продуктивності, що відповідають однаковому рівню комплексного показника надійності. Серед наявних приблизно рівноцінних розв’язків, враховуючи вирішення задачі ефективного функціонування другого рівня складальної системи (модулів лінії), можливо обрати необхідний розв’язок, що забезпечує ефективне функціонування складальної системи в цілому. Таким розв’язком, в даному випадку, є точка з координатами $\eta_{ТВ} = 0,85$, $Q_{Ц} = 80$ шт/год, $C = 0,75$ у.о., $Q_{Ф} = 68$ шт/год.

При цьому очевидно, що експлуатуючи обладнання складальної лінії в такому режимі ми дещо втрачаємо в цикловій продуктивності, проте в результаті маємо можливість збільшення програми впуску виробів при достатньо високому рівні надійності і відносно низькій собівартості складання виробів.

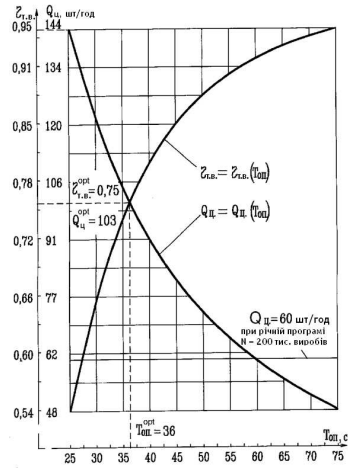
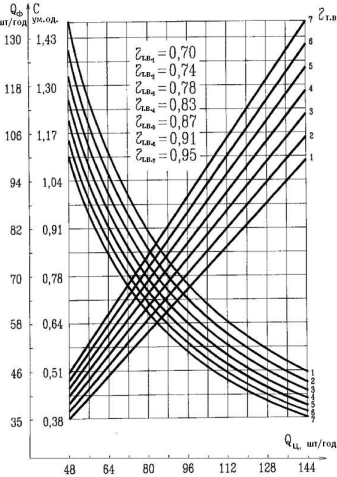


Рис. 1 – Приклад визначення опти- Рис. 2 – Приклад результатів моде-
мального співвідношень параметрів лярвання оптимальних співвідно-
функціонування $Q_{\text{Ц}}, \eta_{\text{ТВ}}, T_{\text{ОП}}$ авто- шень собівартості та продуктивно-
матичної лінії складання сті складання в умовах ГВС

Література

1. Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. “Лекции по теории сложных систем”, М.: Советское радио, 1973
2. Бусленко Н.П., “Моделирование сложных систем”, М.: Наука, 1978
3. Месарович М., Мако Д., Такахара И. “Теория иерархических многоуровневых систем”, Пер. с англ. М.: Мир, 1973
4. Дегтярев Ю.И., “Методы оптимизации”, М.: Советское радио, 1980
5. Пападимитриу Х., Стейнглиц К., “Комбинаторная оптимизация. Теория и алгоритмы”, М.: Мир, 1985
6. Рихтер К. “Динамические задачи дискретной оптимизации”, М.: Радио и связь, 1985
7. Бункин В.А. и др. “Справочник по оптимизационным задачам в АСУ”, М.: Машиностроение, 1984

Получено 20.11.2008