

Н. С. Григор'єва

Луцький національний технічний університет

ТЕХНИКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ МОДУЛЬНОГО ГНУЧКОГО АВТОМАТИЧНОГО СКЛАДАННЯ

Розроблена методика застосування гнучкого модульного складання, яка полягає у обґрунтуванні використання модульної системи організації виробництва. Її стержнем є модуль і утворений модульний процес з використанням переналаджуваного модульного обладнання та оснащення. Економічне обґрунтування проводиться на підставі якісного та кількісного аналізу порівняльної економічності варіантів.

Ключові слова: модульне складання, модуль, ефективність, переналаджування.

Мал. 1. Форм. 9. Літ. 5.

Н. С. Григорьева

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДУЛЬНОЙ ГИБКОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ

Разработана методика применения гибкой модульной сборки, которая состоит в обосновании использования модульной системы организации производства. Ее стержнем является модуль и образованный модульный процесс с использованием перенастраиваемого модульного оборудования и оснастки. Экономическое обоснование проводится на основе качественного и количественного анализа сравнительной экономичности вариантов.

Ключевые слова: модульная сборка, модуль, эффективность, переналадка.

Рис. 1. Форм. 9. Лит. 5.

N. Grigorieva

TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY MODULE FLEXIBLE OF AUTOMATIC ASSEMBLING

Developed a technique for applying a flexible, modular addition, which is ground of the modular system of organization of production. Its stem is a module and modular process using realignment modular equipment and tooling. The economic ground is based on a qualitative and quantitative comparative analysis of cost effectiveness of variants.

Keywords: modular assembly, module, efficiency, readjust

Fig. 1. Forms. 9. Lit. 5

Техніко-економічна ефективність гнучкого автоматичного модульного складання різних виробів, як відомо, розраховується за критерієм приведених витрат за методикою [1]. В якості техніко-економічного критерію можуть бути прийняті відомі функції

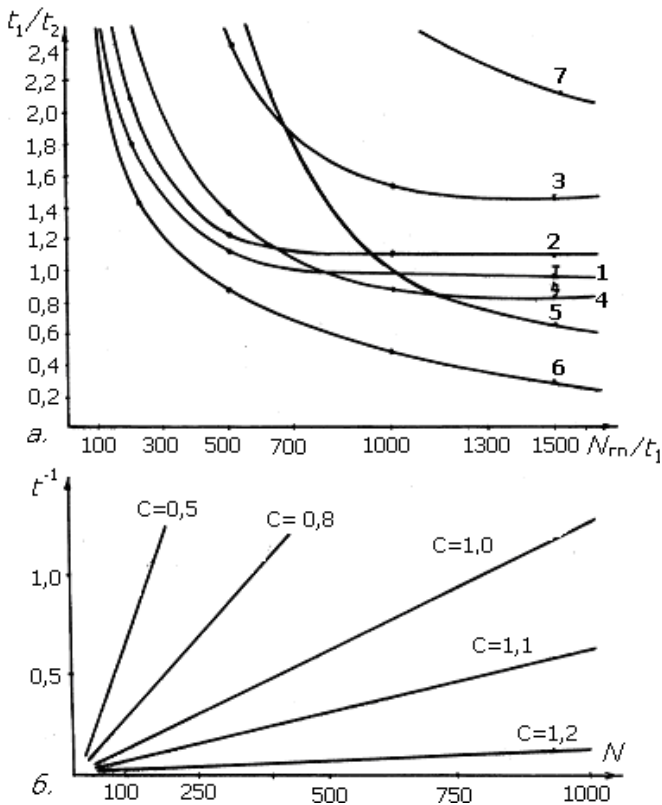
$$P_T = NT_{\text{екс}} / [C_M + T_{\text{екс}}(C_{ME} + C_{OH})] \rightarrow \max, \quad (1)$$

де N - річна програма складання виробу; $T_{\text{екс}}$ - термін експлуатації; C_M - сумарні одночасові витрати минулої праці на проектування та виготовлення переналаджуваного модульного складального обладнання; C_{ME} - сумарні біжучі витрати минулої праці на енергію, інструмент, технічне обслуговування; C_{OH} - сумарні витрати по заробітній платі операторів і наладчиків; P_T - продуктивність. При розрахунках техніко-економічного ефекту виходиться з критерію економічної оптимальності, по якій можна судити про порівняльну економічну доцільність застосування різних варіантів переналаджуваного модульного складального обладнання.

Економічне обґрунтування проводиться на підставі якісного та кількісного аналізу порівняльної економічності варіантів. На початку встановлюються початкові умови, вхідні, вихідні змінні та обмеження. Визначення чисельних значень керованих змінних, при яких цільова функція мети приймає значення і є суттю оптимізаційного завдання. В інституті кібернетики Білорусії розпрацьована методика багатокрокового проектування оптимальних за собівартістю технологічних процесів і обладнання, яка зводиться до вирішення складних економічних задач з використанням теорії графів [2]. Визначення економічної доцільності застосування різних типів переналаджуваного модульного складального обладнання рекомендується проводити за приведеними витратами циклу [1]

$$P_y = C_T + (E_H K t_{\text{ск}}) / \Phi, \quad (2)$$

де C_T - технологічна собівартість модульного складання; E_H - нормативний коефіцієнт ефективності; K - вартість переналаджуваного обладнання; Φ - фонд часу роботи обладнання; $t_{ск}$ - штучний час.



Мал. 1. Межі ефективного використання переналаджуваного модульного обладнання різних типів (а) та економічно доцільного використання його при постійному співвідношенні

використання стає економічно узasadнене при серії виробів 350...900 шт., а адаптивних лише 120 шт. Використання спеціального складального обладнання в цих умовах цілком неефективне (крива 7). При більших програмах гнучкого модульного складання попередньо можна вважати ефективним застосування складального робота (крива 5) і більш складного обладнання, котре має більшу вартість основної частини (складальних модулів), модуля управління та переналадження (крива 6). Таке обладнання є більш гнучким і може використовуватися в складальних центрах. Решта наведених кривих можуть видозмінюватися при накладанні додаткових обмежень (1, 2, 3, 4).

Графіки економічно доцільного використання переналаджуваного модульного складального обладнання зі змінними налагодками і програмним управлінням для варіанту 1 при постійній відносній продуктивності наведені на мал. 1 б. З збільшенням відносної продуктивності гнучкого складання росте гранична програма складаних виробів. Так при $t_{um}^{-1} = 1$ і $c = 1$, гранична програма випуску виробів, при якій рівнозначне використання технологічного обладнання різновидів виробів біля 830 шт.

Для встановлення технологічного процесу гнучкого складання виробів, операцій переналадження з заданим рівнем витрат використовується опрацьована методика та алгоритм формування потрібного рівня показників якості, наприклад, точності, надійності та продуктивності на підставі теорії графів. Вершини такого орграфу відповідають модульним переходам процесу гнучкого складання, переналадження чи деталям, окремим елементам, які творять конструкційний модуль, а дуги - витратам, що супроводять такий вибір. В основі графа лежать функціональні залежності елементів процесу гнучкого складання, переналадження чи конструкції. Для рішення використаний вичерпний пошук: розширення рішення до того моменту, коли це можливо, і коли його не можна розширити, повернення до нього зі спробою зробити інший вибір на самому близькому етапі де є така можливість. Математична постановка завдання

На мал. 1 а наведені графіки, які показують межі економічно доцільного використання різних типів переналаджуваного модульного складального обладнання при зміні часу гнучкого складання та кількості складаних виробів. Характер представлених кривих в значній мірі визначається вартісними показниками, конкретні величини яких надають різне зміщення та розтяжку гіперболам. Знаючи відносну продуктивність модульного гнучкого автоматичного складання, можна встановити граничну програму складання, при якій економічно доцільно застосувати різні типи переналаджуваного модульного складального обладнання. Прикладово, при відносній продуктивності 1,6, відповідно річні витрати часу гнучкого автоматичного складання складають по прийнятим варіантам 275, 330, 900 і 400 годин. При часі гнучкого складання рівному 1 хв., гранична програма, при якій доцільне застосування переналаджуваного модульного складального обладнання за третім варіантом складе 900 шт. При більшій програмі складання доцільніше застосування переналаджуваного модульного складального обладнання зі змінними налагодками. При їх вартості до 900 доларів

полягає в тому, що заданий зважений ациклічний оргграф, в якому необхідно визначити всі шляхи заданої довжини, які ведуть з початкової вершини в кінцеву.

Технологічна собівартість гнучкого автоматичного модульного складання з одного боку впливає на конкурентоспроможність складаних виробів, а з другого - є показником технологічності їх конструкції і показує супроводжуючі витрати гнучкого модульного складального виробництва по їх виготовленню. Собівартість залежить від багатьох чинників, основними з яких вважаються: конструкційна складність виробу, розміри, вимоги, що до нього пред'являються, якість і кількість, технологія модульного гнучкого складання, переналагоджуване складальне обладнання та оснащення, його показники якості, складність процесу переналагодження, стабільність, режими гнучкого складання, організація модульного складання, тощо.

При класичному підході структура технологічної собівартості усередненого об'єкта має бути рівноважною (мал. 2). В залежності від конструкції складаного виробу, особливостей виробництва, ситуації в країні-виробнику спостерігається деяка деформація складових

$$C_T = M + Z + H, \quad (3)$$



Мал. 2. Усереднена структура технологічної собівартості виробу

де M - вартість матеріалів; Z - заробітна плата основних і допоміжних робітників з відповідними нарахуваннями; H - накладні видатки. Стрілками показані напрямки збільшення вартості матеріалів і накладних видатків, зменшення заробітної плати. Так в Україні, як і інших країнах СНД, спостерігається перекид в напрямку зменшення заробітної плати, що дуже цікаве для інвесторів, збільшення вартості матеріалів навіть у порівнянні з Заходом і збільшення накладних видатків для покриття низької організації виробництва. Розрахунок складових формули (3) проводиться за відомими виразами [1,2] з різною їх точністю. Оскільки при автоматичному складанні виробів основні матеріали відсутні, то враховуються лише допоміжні, а цехові накладні видатки беруться як віднесені до гнучкого модульного технологічного процесу чи технологічного модуля

$$C_{T.Скл} = M_0 + Z + A + H_u, \quad (4)$$

де M_0 - вартість допоміжних матеріалів; A - амортизація переналагоджуваного модульного обладнання з оснащенням; H_u - цехові накладні видатки без врахування собівартості, віднесеної до одного модуля, модульної операції чи цілого процесу.

В розгорнутому вигляді цей вираз для технологічної модульної операції представляється по аналогії [2] як

$$C_{TMO} = \frac{Z_{зод} t_{ум}}{60} + \frac{A_o \Pi_{об} t_{ум}}{60 F_p k_{зав}} + \frac{H_z - H_o}{100} \cdot \frac{Z_{зод} t_{ум}}{60} = \frac{t_{ум}}{60} \left[Z_{зод} \left(1 + \frac{H_z - H_o}{100} \right) + \frac{A_o \Pi_{об}}{F_p k_{зав}} \right], \quad (5)$$

де $Z_{зод}$ - годинна заробітна плата; $t_{ум}$ - штучний час виконання модульної операції; A_o - відсоток амортизаційних відрахувань; $\Pi_{об}$ - ціна переналагоджуваного модульного складального обладнання; F_p - річний фактичний фонд часу роботи обладнання; $k_{зав}$ - коефіцієнт завантаження складального обладнання; H_z - відсоток накладних цехових видатків на виробничу заробітну плату; H_o - відсоток до виробничої зарплати статті накладних видатків по амортизації обладнання.

Зменшення технологічної собівартості досягається за рахунок скорочення працемісткості гнучкого складання, зменшення накладних видатків, вартості переналагоджуваного обладнання, збільшення коефіцієнту завантаження обладнання, тощо. Річні приведені витрати, пов'язані з гнучким автоматичним модульним складанням відповідають

$$H_{річ} = A_o + Z + E + E_n (Z_{прог} + K_{обл}), \quad (6)$$

де Z - фонд заробітної плати наладчиків; E - додаткові витрати на електроенергію; $Z_{прог}$ - витрати на розробку програм; E_n - нормативний коефіцієнт капіталовкладень; $K_{обл}$ - вартість переналагоджуваного модульного складального обладнання та оснащення. Кожна з вказаних складових може бути диференційована на менші з метою забезпечення найбільшої адекватності.

При аналітичному вирішенні завдання про економічність варіанту гнучкої модульної технології автоматичного складання та не модульної, як відомо, розраховується технологічна собівартість складання за двома варіантами. Ця ж методика буде придатною і при виборі кращого

варіанту гнучкої модульної технології. Тоді технологічна собівартість варіантів складання визначається за відомим виразом

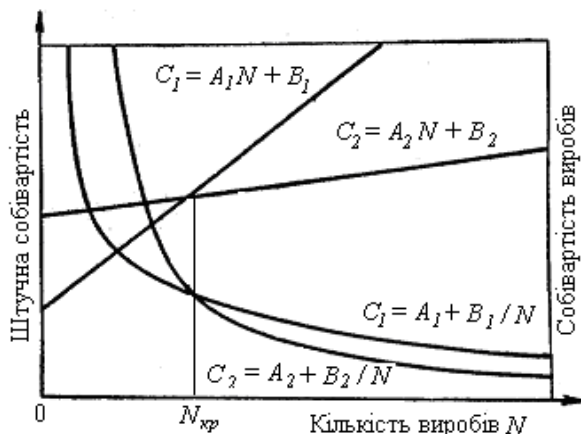
$$C_i = A_i N + B_i, \quad (7)$$

де A_i - постійні витрати на один складальний виріб (технологічне паливо, енергія, допоміжні матеріали, заробітна плата виробничих робітників, витрати на експлуатацію обладнання, тощо); B_i - постійні витрати на річну програму складання (амортизаційні відрахування, відсотки за кредит, орендна плата, зарплата управлінських працівників, адміністративні витрати, тощо); N - річна програма складання виробів. Одержане рівняння можна переписати як

$$C_i = A_i + B_i / N. \quad (8)$$

Розв'язуючи рівняння відносно N при умові рівності $C_i = C_{i+1}$, отримується рівнозначна величина річної програми складання виробів

$$N_p = (A_{i+1} - A_i) / (B_i - B_{i+1}). \quad (9)$$



Мал. 3. Співставлення двох варіантів модульних гнучких технологічних процесів автоматичного складання

Отримані рівняння графічно представлені на мал. 3, що відповідає умовам порівняння і при модульному гнучкому складанні. Якщо запланована програма складання є більшою рівнозначній, то економічно кращим буде варіант 2, оскільки він має меншу технологічну собівартість з-за меншої заробітної плати, матеріалів, тощо. В протилежному випадку випадає кращим варіант 1. В наведеному прикладі $A_i > A_{i+1}$, $B_{i+1} > B_i$. Якщо ж при одному варіанті величини A_i і B_i більші чи менші, ніж при другому, то N_p мала би бути меншою нуля, а це означало би, що один варіант має меншу технологічну собівартість, чим другий незалежно від кількості автоматично складаних вузлів або виробів.

При необхідності вибору кращого варіанту технологічного процесу з більшої їх кількості, допомогти в цьому може знову теорія графів [3] або мереж Петрі. В орграфі, вершини котрого представляють модульні операції, а дуги - їх витрати, шукається мінімальний шлях, тобто вводиться цільова функція технологічної собівартості, яка має бути мінімальною. Ця ж методика може бути використаною при формуванні самої модульної технологічної операції, але вершинами орграфа будуть тоді складальні модульні ходи (як основні, так і допоміжні), переходи, установки, позиції, а дугами - їх витрати. При порівнянні варіантів технологічної собівартості не обов'язково користуватися повною величиною. Доцільно з метою спрощення відкинути однакові складові собівартості за варіантами, а порівняння проводити за різними складовими, користуючись неповною технологічною собівартістю.

Оскільки технологічна собівартість є одним з показників якості, то дослідити вплив на неї формуючих чинників можна за допомогою механізму формування показників якості. На технологічну собівартість впливають виділені окремо конструкційні, технологічні, організаційні та експлуатаційні чинники через свої коефіцієнти впливу, котрі можуть бути розрахованими аналітично або за допомогою кореляційного аналізу [2]. Також на підставі принципу суперпозиції кожний з чинників, що формує технологічну собівартість може розглядатися як лінійна комбінація, в загальному вигляді записуватися матричним рівнянням і визначатися з його рішення. Але оскільки така система є нелінійною, то при вирішенні матричних рівнянь застосовується принцип лінеаризації (заміна нелінійних рівнянь лінійними).

Технологічна собівартість повинна бути підставою для визначення відпускнуої ціни виробу, котра тісно пов'язана з його конкурентоспроможністю. Різницею між вказаними величинами є чистий прибуток, невиробничі витрати, витрати від браку, загальноцехові та загальнозаводські витрати. Очевидно, що для отримання сприятливої ціни виробу вказані складові слід мінімізувати, що в першу чергу забезпечує висока організація виробництва. Слід зауважити, що технологічна собівартість гнучкого модульного складання є лише останнім елементом повної технологічної собівартості виготовлення виробу, куди ще входять собівартості одержання заготовок і самих

деталей, які також слід мінімізувати, хоча в загальному такий підхід не є правильним. Не слід забувати, що, наприклад, можна навіть значно збільшити собівартість виготовлення заготовок при умові, що знизиться собівартість одержання деталей. Тому також допустиме збільшення собівартості виготовлення окремих деталей, наприклад, при їх ускладненні, коли це приводить до зменшення технологічної собівартості їх гнучкого модульного автоматичного складання.

Хоча ціну виробу в умовах ринкової економіки визначає ринок, але в перехідний період, в якому тепер знаходяться всі країни на пострадянському просторі, слід жорстко регламентувати чистий прибуток, уникаючи не узasadненого збагачення. Таке тимчасове регламентування можна досягнути впровадженням нормативного коефіцієнта чистого прибутку для різних виробів і послуг. Ніякі антимонопольні заходи не забезпечать сприятливої ціни виробів або особливо послуг, бо на перше місце висувається максимальне збагачення і використання для досягнення цієї мети змови виробників.

Таким чином, виявлення варіанту модульного процесу гнучкого складання, операції переналагодження чи конструкції модуля, переналагоджуваного модульного обладнання з оснащенням з заданим рівнем витрат може виконуватися на функціональному орграфі. Очевидно цю методику слід застосовувати в комплексі, тобто встановленні всіх головних показників якості. При цьому, один з них, наприклад, надійність або точність, вибирається як оптимізуємий, а решта - встановлюються як обмеження. При такому підході порівняно просто вирішується завдання науково обгрунтованого вибору процесу модульного складання чи модульних конструкцій за заданими техніко-економічними допусками основних показників якості. Переваги комплексного методу очевидні: в його основі закладений аналіз функціональних орграфів взаємозв'язків окремих елементів. Подібність орграфу з фізичною структурою модульної системи дозволяє отримати моделі будь-якого ступеня деталізації, що несуть повну інформацію для аналізу та синтезу, мають більш високу точність у порівнянні з відомими, оскільки значно спрощується наочність перевірки отриманих результатів, мають потенційну можливість застосування для широкого діапазону подібних технологічних і конструкційних завдань [4].

Висновки. Дати оцінку ефективності модульного складання можна за рівнем забезпечення технологічності конструкцій виробів, що випускаються, їх точності та надійності, продуктивності та технологічної собівартості виготовлення, а також величини ефекту.

Технологічна собівартість виробів при їх модульному складанні повинна бути рівноважною, яка крім того, що є показником якості є також показником технологічності конструкції. На підставі принципу суперпозиції кожний з чинників може розглядатися як лінеаризована комбінація і в загальному вигляді записуватися матричним рівнянням і визначатися з його рішення. Тому її значення визначається не лише величиною складових елементів, а також кореляційними зв'язками між ними.

Експериментальні дослідження головних показників якості переналагоджуваного модульного автоматичного складального обладнання з оснащенням підтвердили високу ефективність гнучкого модульного складання. Отримані результати були використані як зворотні зв'язки при розробці гнучких модульних технологічних процесів автоматичного складання, проектуванні переналагоджуваного модульного складального обладнання та оснащення. Їх коефіцієнт технічного використання та готовності за даними дослідно-виробничої експлуатації знаходились в межах 0,712...0,93, продуктивність - 150...350 шт./год. при тривалості переналагодження 60...290 хв. Було розроблено більше 30 різних конструкцій такого обладнання з оснащенням, більшість з яких була виконана на рівні винаходів [5].

1. Великанов К. М. и др. Методика расчета экономической эффективности новой техники. – Л.: Машиностроение, 1985. – 540 с.
2. Пузина К. Ф., Запаснюк А. С. Экономическая эффективность научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1978. – 120 с.
3. Алферова В. В. Математическое обеспечение экономических расчетов с использованием теории графов. – М.: Статистика, 1994. – 218 с.
4. Григор'єва Н. С. Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів: Монографія. – Луцьк: Надстир'я, 2008. – 520 с.
5. Григор'єва Н. С. і інші. Підвищення ефективності автоматичного складання пластинчатих магнітопроводів. - Луцьк, ЛДТУ, 2004. –137 с.

Стаття прийнята до друку 06.04.2015.