

Н. С. Григорьева, д-р техн. наук, проф.,
Луцький національний технічний університет, Україна
Тел. +038 032 223 60 35 E-mail: vik_shabajkin@ukr.net

ЕФЕКТИВНІСТЬ МОДУЛЬНОГО АВТОМАТИЧНОГО СКЛАДАННЯ

Розроблена методика застосування 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.

N. S. Grigoryeva

EFFICIENCY MODULE OF AUTOMATIC ASSEMBLING

Developed a technique for applying modular assembling, 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

Постановка проблеми.

Сучасне машинобудівне виробництво вийшло на новий більш складний етап розвитку, пов'язаний з ринковими відносинами. Розробка та освоєння нових видів продукції, покращення їх якості та конкурентності - це засади розвитку виробництва. Складальні підприємства є потужним потенційним резервом росту регіональних економік і створення робочих місць. В теперішній час пріоритетним напрямком в складальному машинобудівному та приладобудівному виробництві є впровадження нових прогресивних технологій та конструкцій, якими і є модульні. Модульне виробництво найбільш повно відповідає швидкій зміні номенклатури виробів. Підтвердження його актуальності знаходиться в концепції розвитку майбутнього комп'ютерно-інтегрованого виробництва. Проблеми модульного складання лежать у різних площинах, але в першу чергу - конструкційній, технологічній, організаційній та економічній при забезпеченні підвищення якості та конкурентності продукції та закладенні в їх основу положень: простіше, краще, дешевше.

В сучасних умовах пріоритетність мають інноваційні методи виробництва, зокрема модульне гнучке складання продукції. Цей вид містить нові та модифіковані виробничі процеси, техніку та технології і вважається новим напрямком в технології машинобудування, котрий має низку конкурентних переваг, як ефективність, сучасний рівень конструкцій та технологій, використання ресурсів, рівень розвитку інституціонального середовища тощо. Його реалізація, спрямована на активізацію інноваційних процесів, може забезпечити значний ефект, який проявлятиметься у всіх сферах виробництва та забезпечить його високі показники.

Розробці, а особливо впровадженню модульного складання, повинно передувати його економічне обґрунтування, повинно підтвердити фінансування робіт. Зазвичай вимагається, щоб капіталовкладення окупалися швидше, ніж два роки. В повній мірі оцінити ефективність модульного автоматичного складання можна, маючи чисельні оцінки всіх переваг і недоліків, одержаних з аналізу невизначеності чинників, які роз-

глядаються за допомогою як точних, так і стохастичних методів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій дозволив зробити наступні висновки: не дивлячись на те, що модульне складання є принципово новим напрямком в машинобудуванні та приладобудуванні багато питань ще не розроблені, що значно стримує його подальший розвиток і вимагає суттєвих доопрацювань в напрямку реалізації особливостей модульного принципу. Практично відсутні комплексні теоретичні напрацювання по ефективності застосування модульного складання продукції. Наведені обставини вказують на гостру необхідність продовження розробки як підстав модульного складання, так і його ефективності. Його застосування в виробництві забезпечать додатковий ефект, котрий є наслідком поєднання автоматичного гнучкого та модульного складального виробництва не притаманний кожному з них окремо.

Практично такі роботи відсутні, тому необхідно буде користатись як джерелами по модульному складанні [1,2], так і класикою техніко-економічного його обґрунтування [3,4,5,6,7]. Тому можна вважати, що тепер у зв'язку з запотребуванням робляться перші спроби розроблення та реалізації модульного складання продукції та встановлення його ефективності.

Метою статті є опис методу наближеного визначення ефективності модульного складального виробництва при використанні спрощених розрахунків, тобто техніко-економічного критерію.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Техніко-економічна ефективність гнучкого автоматичного модульного складання різних виробів розраховується за критерієм приведених затрат по методиці [4,5]. В якості техніко-економічного критерію можуть бути прийняті відомі функції

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

де N - річна програма складання виробу; $T_{екс}$ - термін експлуатації; C_M - сумарні односторонні затрати минулої праці на проектування та виготовлення модульного складального обладнання; C_{ME} - сумарні біжучі затрати минулої праці на енергію, інструмент, технічне обслуговування; C_{OH} - сумарні затрати по заробітній платі операторів і наладчиків; P_T - продуктивність.

При розрахунках техніко-економічного ефекту виходиться з критерію економічної оптимальності, по якій можна судити, виходячи з порівняльної економічної доцільності застосування різних варіантів 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 числових значень керованих змінних, при яких цільова функція мети приймає значення і є суттю оптимізаційного завдання. В інституті кібернетики Білорусії опрацьована 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 переналагоджуваного модульного складального обладнання рекомендується проводити за приведеними затратами циклу [4]

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

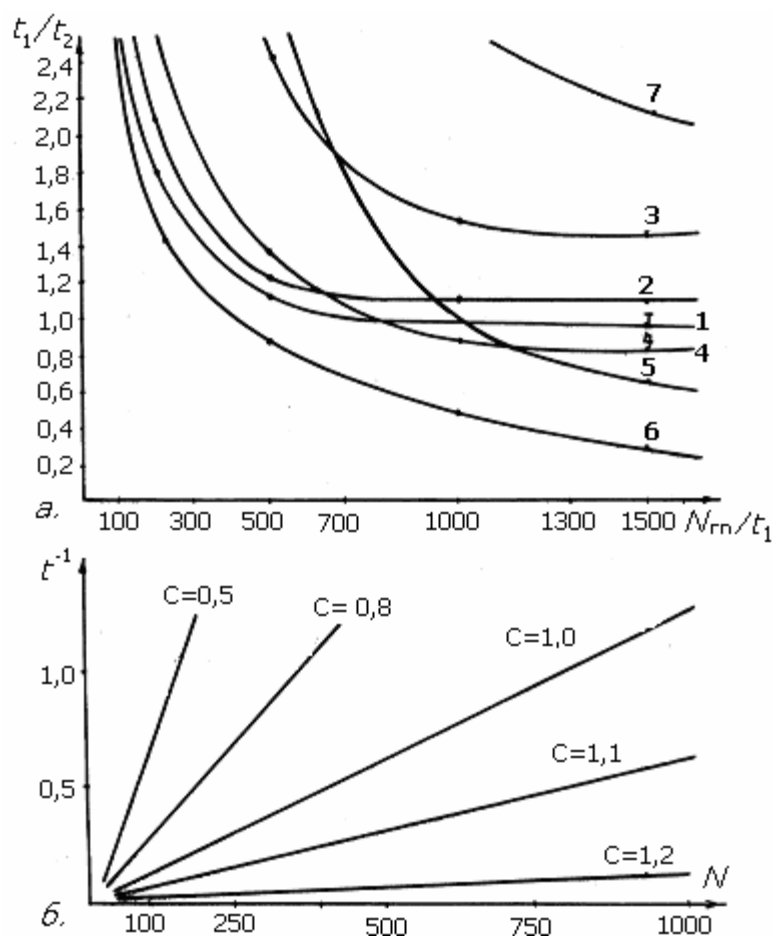


Рис. 1. Межі ефективного використання модульного обладнання різних типів (а) та економічно доцільного використання його при постійному

при відносній продуктивності (рис. 1б), відповідно річні витрати часу модульного автоматичного складання дорівнюють за прийнятими варіантами 275, 330, 900 і 400 годин. При часі модульного складання рівному 1 хв., гранична програма, при якій доцільне застосування переналаджуваного модульного складального обладнання за третім варіантом складе приблизно 900 шт. При більшій програмі складання доцільніше застосування переналаджуваного модульного складального обладнання зі змінними налатками. При їх вартості до 900 у.о. використання стає економічно uzasadнене 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.

Графіки економічно доцільного використання переналаджуваного модульного складального обладнання зі змінними налатками і програмним управлінням для варіан-

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

На рис. 1а 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 гнучкого автоматичного модульного складання, можна встановити граничну програму складання, при якій економічно доцільно стасувати різні типи переналаджуваного модульного складального обладнання. Прикладово,

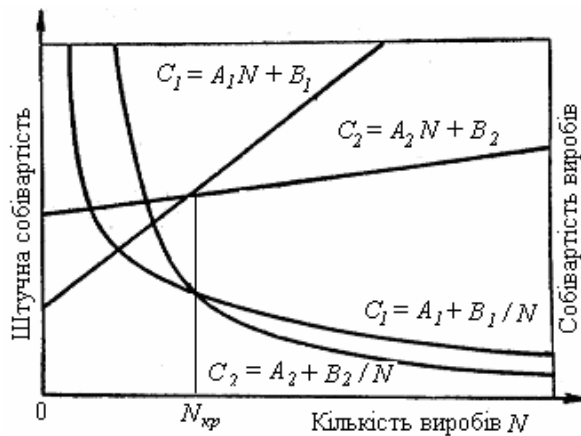


Рис. 2. Співставлення двох варіантів модульних гнучких технологічних процесів автоматичного складання

пред'являються, якість і кількість, технологія модульного складання, переналаджуване складальне обладнання та оснащення, його показники, складність процесу, стабільність, режими модульного складання, організація модульного складання тощо.

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

$$C_{ТМО} = \frac{Z_{год} t_{ум}}{60} + \frac{A_o \Pi_{об} t_{ум}}{60 F_p k_{зав}} + \frac{H_z - H_o}{100} \cdot \frac{Z_{год} t_{ум}}{60} = \frac{t_{ум}}{60} \left[Z_{год} \left(1 + \frac{H_z - H_o}{100} \right) + \frac{A_o \Pi_{об}}{F_p k_{зав}} \right], \quad (3)$$

де $Z_{год}$ - годинна заробітна плата; $t_{ум}$ - штучний час виконання модульної операції; A_o - відсоток амортизаційних відрахувань; $\Pi_{об}$ - ціна переналаджуваного 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 працевітності гнучкого складання, зменшення накладних видатків, вартості переналаджуваного обладнання, збільшення коефіцієнту завантаження обладнання, тощо. Річні приведені витрати, пов'язані з гнучким автоматичним модульним складанням відповідають

$$H_{річ} = A_o + Z + E + E_n (Z_{прог} + K_{обл}), \quad (4)$$

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 переналаджуваного 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

$$C_i = A_i N + B_i, \quad (5)$$

ту 1 при постійній відносній продуктивності наведені на рис. 2. Зі збільшенням відносної продуктивності модульного складання росте гранична програма складаних виробів. Так при $t_{ум}^{-1} = 1$ і $c = 1$, гранична програма випуску виробів, при якій рівнозначне використання технологічного обладнання вказаних різновидів складає біля 830 шт.

Одним з показників ефективності модульного складання може бути технологічна собівартість, яка залежить від багатьох чинників, основними з яких вважаються: конструкційна складність продукції, розміри, вимоги, що

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

$$C_i = A_i + B_i / N . \quad (6)$$

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

$$N_p = (A_{i+1} - A_i) / (B_i - B_{i+1}) . \quad (7)$$

Отримані рівняння графічно представлені на рис. 2, що відповідає умовам порівняння і при модульному складанні. Якщо запланована програма складання більша за рівнозначну, то економічно кращим буде варіант 2, оскільки він має меншу технологічну собівартість з-за меншої заробітної плати, матеріалів, тощо. В протилежному випадку кращим є 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 теорія графів [2,3] 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, установи, позиції, а дугами - їх витрати. При порівнянні варіантів технологічної собівартості не обов'язково користуватися її повною величиною. Доцільно з метою спрощення відкинути однакові складові собівартості за варіантами, а порівняння проводити за різними складовими, користуючись неповною технологічною собівартістю.

Для встановлення технологічного процесу модульного складання з заданим рівнем затрат використовується опрацьована методика та алгоритм формування потрібного рівня показників якості, наприклад, точності, надійності та продуктивності на підставі теорії графів [2]. В цьому випадку інтерпретація орграфа наступна. Вершини такого орграфа відповідають модульним переходам процесу гнучкого складання, переналагодження 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, переналагодження чи конструкції. Для досягнення мети використаний вичерпний пошук рішення: розширення пошукового 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 полягає в пошуку в орграфі шляхів заданої довжини, які ведуть з початкової вершини в кінцеву [2].

Технологічна собівартість є підставою для визначення відпускнуої ціни продукції, тісно пов'язаної з його конкурентністю. Різницею між вказаними величинами є чистий прибуток, невиробничі витрати, витрати від браку, загальноцехові та загальнозаводські витрати. Очевидно, що для отримання сприятливої ціни вказані складові слід мінімізу-

вати, що в першу чергу забезпечує висока організація виробництва. Слід зауважити, що технологічна собівартість модульного складання є лише останнім елементом повної технологічної собівартості виготовлення продукції, Тому також допустиме збільшення собівартості виготовлення окремих деталей, наприклад, при їх ускладненні, коли це приводить до зменшення технологічної собівартості їх модульного складання.

Висновки.

Виявлення раціонального варіанту модульного процесу складання продукції, окремих операцій чи конструкції модулів модульного обладнання з оснащенням з заданим рівнем затрат може виконуватися на функціональному оргграфі. Очевидно, що цю методику слід застосовувати в комплексі, тобто дослідженні всіх головних показників техніко-економічної ефективності. При цьому, один з них, наприклад, надійність або затратність модульного складання, вибираються такі, що оптимізуються, а решта - встановлюються як обмеження. При такому підході порівняно просто вирішується завдання науково обґрунтованого вибору потрібного модульного процесу автоматичного складання, переналадження чи модульних конструкцій за заданими техніко-економічно допустимими величинами основних показників якості. Переваги такого комплексного методу очевидні: в його основі закладений аналіз функціональних оргграфів взаємозв'язків окремих елементів, подібність оргграфу 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 наглядність перевірки отриманих результатів, має потенційну можливість застосування для широкого діапазону подібних технологічних і конструкційних завдань.

При розрахунках техніко-економічної ефективності модульного складального виробництва виходиться з критерію економічної оптимальності, по якій можна судити о порівняльній економічній доцільності застосування різних варіантів модульного складального обладнання. Економічне обґрунтування проводиться на підставі якісного та кількісного аналізу порівняльної економічності варіантів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Базров Б. М. Модульная технология в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с.
2. Григор'єва Н. С. Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів: Монографія. – Луцьк: Надстир'я, 2008. – 520 с.
3. Технология автоматической сборки / А. Г. Холодкова, М. Г. Кристаль и др.; под ред. А. Г. Холодковой. – М.: Машиностроение, 2010. – 560 с.
4. Петухов Р. М. Оценка эффективности промышленного производства: //Методы и показатели. – М.: Экономика, 2007. – 95 с.
5. Великанов К. М. и др. Методика расчета экономической эффективности новой техники. – Л.: Машиностроение, 1985. – 540 с.
6. Бичанин В. В. Экономика, организация и менеджмент в машиностроении. – Новополюцк ПГУ, 2014 – 70 с.

Надійшла до редколегії 08.12.2015 р.