

## **ДО ПИТАННЯ ДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ СКЛАДАЛЬНИХ ГНУЧКИХ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ**

### **Вступ**

Продуктивність складальних гнучких комп'ютерно-інтегрованих систем (СГКІС), як і будь-яких інших автоматизованих (чи роботизованих) ліній виготовлення виробів і якість останніх визначається характером динамічних процесів у компонентах системи. В загальному уявленні СГКІС - це сукупність динамічних компонентів (оброблюючих ресурсів, промислових роботів, нагромаджувачів різного призначення, транспортних механізмів і систем тощо), зв'язаних між собою технологічним процесом.

Втім, машинний агрегат кожного з компонентів ГКІС є складною електромеханічною або пневматичною системою дискретно-безперервного типу. Оскільки структура механізмів і виконавчих пристроїв визначається їхнім функціональним призначенням, то актуальними при проектуванні машинних агрегатів є завдання оптимального динамічного синтезу в просторі параметрів, а також корекції динамічних характеристик застосування коригувальних пристроїв. Важливими питаннями як при динамічному аналізі, так і синтезі є питання побудови коректних динамічних моделей, оптимізованих за кількістю врахованих ступенів вільності і відображених впливів. Слід зазначити, що ускладнення моделей не підвищує вірогідність отримуваних результатів, проте приводить до зростання матеріальних і часових витрат на обчислення.

### **Кінцеві орієнтовані графи як апарат відображення динамічних властивостей СГКІС**

Наведений нижче підхід до побудови моделей складних багатомірних дискретних і дискретно-безперервних СГКІС дозволяє в кожному конкретному випадку відшукати модель оптимальної (мінімальної) структурної складності в розглянутому класі. Особливість цього підходу - використання апріорної інформації про динамічні характеристики підсистем і концепції узагальненої динамічної моделі (УДМ) при побудові динамічних характеристик системи в цілому. Якщо взяти за основу алгоритм технологічного складального процесу з урахуванням кількісної характеристики зміни властивостей, то можна побудувати подану математично і засновану на теорії кінцевих орієнтованих графів схему реалізації процесу.

На рис. 1 показана УДМ машинного агрегату, виконаного за схемою двигун — передавальний механізм — виконавчий пристрій, як основного носія динамічних властивостей компонентів СГКІС. Індексми  $j - a$

© З.В. Діхтяр, Б.В. Ігнатенко, 2006

позначені відповідні маси динамічних моделей двигуна й передавального механізму, зв’язані пружними з’єднаннями  $j - a$ ;  $b - k$  – маси моделей передавального механізму й виконавчого пристрою, зв’язані пружним з’єднанням  $b - k$ .

Динамічний граф (рис. 2) відповідає умовній дев’ятимасовій моделі, що відноситься до класу моделей максимальної структурної складності (так званих  $\Delta$  - моделей), аналіз яких складний і трудомісткий. При цьому практично виключається одержання продуктивних якісних характеристик таких моделей, важливих при проектуванні компонентів СГКІС.

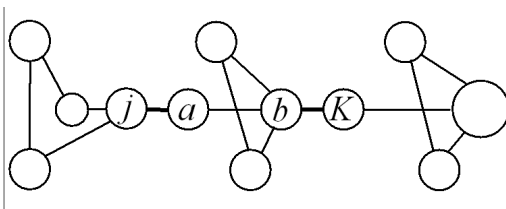


Рис. 1 – УДМ машинного агрегату, виконаного за схемою двигун - передатний механізм - виконавчий пристрій

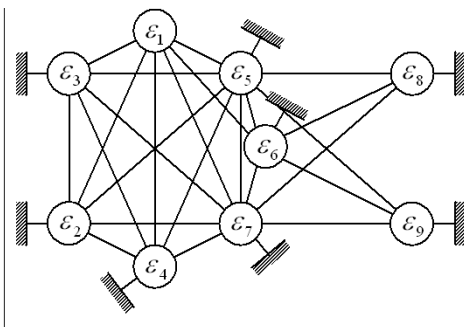


Рис. 2 – Динамічний граф моделі двигун - передатний механізм - виконавчий пристрій:  $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$  — оновні точки

При перетвореннях вихідна динамічна модель (див. рис. 1) із графом (див. рис. 2) трансформується в еквівалентну модель найпростішої структури з ациклічним графом, що описує динамічну поведінку моделей у квазінормальних координатах її підсистем (рис. 3). На зосереджені маси графа еквівалентної УДМ діють збуджуючі сили, обумовлені правими частинами відповідної системи диференціальних рівнянь руху. Процес побудови графа УДМ складової СГКІС, виконаного за схемою двигун - передатний механізм - виконавчий пристрій, можна уніфікувати, використовуючи динамічні графи підсистем.

Достоїнством таких еквівалентних структурних перетворень динамічних моделей складних систем є проста структура еквівалентних моде-

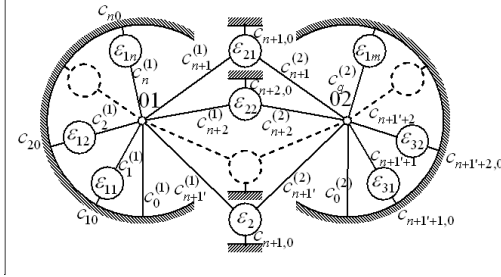


Рис. 3 – Динамічний граф еквівалентної складової моделі:  $n$  — мірна ланцюгова консервативна модель;  $C_{i,j}$  — коефіцієнт жорсткості з’єднання  $i \Delta_n$  моделі;  $C_0, \dots, n$  — квазіпружні параметри

лей, що не тільки спрощує аналіз машинних агрегатів як складових СГ-КІС, але й дає можливість здійснити синтез у просторі параметрів. При розв’язанні завдань синтезу на основі одержуваних динамічних моделей простої структури визначаються власні спектри моделей практично будь-якої розмірності й за економічними алгоритмами, мінімізованими за кількістю арифметичних операцій і необхідним обсягом оперативної пам’яті ЕОМ.

### Синтез узагальнених динамічних моделей СГКІС

Як пиклад розглянемо взаємозв’язок динамічних процесів у пневмоелектромеханічній системі (ПЕМС) СГКІС. Структурно-функціональна схема процесу, в якому реалізується одна основна операція складання двох деталей, показана на рис.4. Схема розділена на три блоки:  $A$  — розмітки стрічки заготовки з рулону;  $B$  — виготовлення пластини;  $B$  — складання пластин з трубки.

Інтегратором  $W_4$  (магазин розмотування заготовки з рулону) канали  $A$  та  $B$  між собою не зв’язані, тобто динамічні явища, що протікають у цих блоках, незалежні. Стан механічної підсистеми ПЕМС характеризується моментом інерції, масою, демпфіруванням, жорсткістю. Але ні на вході, ні на виході вони не проявляються, тому на рис. 4 не показані.

В першому наближенні можна вважати, що динамічні процеси із блоку  $B$  в блок  $B$  не передаються, тому що маса й жорсткість пластини в порівнянні з масою й жорсткістю матриці - досилателя  $W_{18}$  малі.

Блоки  $A, B, B$ , зв’язані між собою реалізованим технологічним процесом виготовлення й складання, а системи диференціальних рівнянь, що описують динамічні процеси блоків, є незалежними один від одного.

Для підвищення продуктивності й надійності СГКІС необхідно побудувати структурно-функціональні моделі й докладно розглянути взаємозв’язок динамічних процесів в системі. Послідовність технологічного процесу виготовлення й складання серцевин пластинчато-трубчастих радіаторів охолодження в автомобільній промисловості наступна: розмотування з рулону й подача стрічки в накопичувач; витягування з нако-

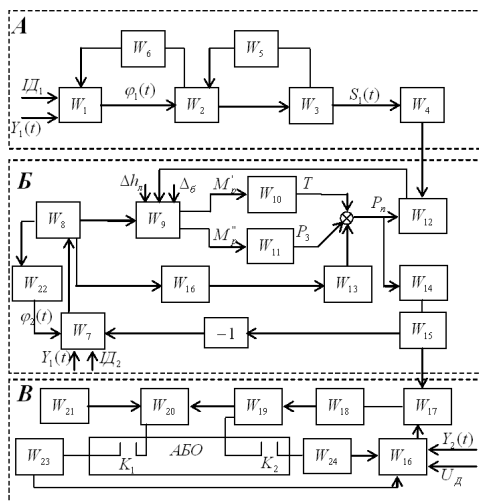


Рис. 4 – Схема процесу складання на СГКІС з роторним штампом

пичувача й відбортування країв стрічки; перфорація стрічки роторним штампом і подача її в матриці-досилателі; відрізка пластини й складання її із трубками охолодження..

Робочі й динамічні процеси динамічної СГКІС (див. рис. 4) здійснюються підведеною електроенергією електричного струму  $I_{Д1}$  до двигуна  $W_1$ ,  $I_{Д2}$  – до двигуна  $W_7$  і енергією стисненого повітря, витрата якого  $U_{Д}$  реалізується пневмодвигуном  $W_{16}$ . Додатковий вплив на двигуни  $W_1$ ,  $W_7$ ,  $W_{16}$  внаслідок коливань струму в електромережі й тиски пневмосистеми враховується на моделі вхідними координатами  $Y_1(t)$ ,  $Y_2(t)$ . Блок А схеми відображає розмотування з рулону стрічки й нагромадження її в інтеграторі  $W_4$ . У цьому блоці передатна функція  $W_1$  перетворює вхідні координати  $I_{Д1}$  і  $Y_1(t)$  у координату  $\varphi_1(t)$  (кут повороту ротора електродвигуна), що ланками  $W_2$  та  $W_3$  формується у функцію  $S_1(t)$  лінійного переміщення стрічки. Зміна моменту інерції рулону, сили тертя, а також невірноваженість сил інерції враховуються передаточною функцією  $W_3$ . Вхідна функція  $\varphi_1(t)$  відображається на вхідну функцію ланки приводом з передаточною функцією  $W_2$ . Динамічна система машинного агрегату утворюється сукупністю пружної системи (ПС) та робочих процесів. Зазначену взаємодію в блоці А показано на схемі прямими й зворотними зв'язками  $W_1$ ,  $W_2$ , та  $W_3$ .

У блок Б стрічка з інтегратора  $W_4$  падається за рахунок сили  $P_n$  :

$$P_n = T + P_3 + P_T,$$

де  $T$  – сила тертя між стрічкою й роторами штампу,  $P_n$  – сила верста-

тного рейкового епіциклічного зачіплення між перфорованою стрічкою й зубами-пуансонами;  $P_T$  — сила тяги ведучих роликів  $W_{13}$ .

Вихідна функція  $\varphi_2(t)$  електродвигуна  $W_7$  перетворюється передаточною функцією приводу  $W_8$  у функцію крутного моменту  $M_p(t)$  на ведучому валу роторного штампа  $W_9$ . Момент  $M_p$  змінюється в часі за нелінійним законом, який залежить від: моментів  $M_p'$  та  $M_p''$ , які передаточними функціями  $W_{10}$  та  $W_{11}$  перетворюються в силу тертя  $T$  і силу верстатного зачеплення  $P_n$ ; зміни налаштування за рахунок коливань товщини стрічки  $\Delta l_t$  та зміни механічних характеристик матеріалу стрічки  $\Delta \sigma$ ; моменту, необхідного для перфорації стрічки та утворення поздовжніх ребер жорсткості на стрічці; розсіювання енергії; зусилля різання стрічки при поділі на пластини.

На схемі в блоці  $B$  позначені також:  $W_{12}$  — механізм отбортовки стрічки;

$W_{14}$  — передаточна функція, що враховує особливості руху перфорованої стрічки в зазор між матрицею та напрямними гребінками механізму насадки до упору  $W_{15}$ .

У блоці  $B$  ланка  $W_{17}$  відрізає пластину від стрічки, а знено  $W_{18}$  перетворює напрямок руху пластини. З урахуванням неоднорідності динамічних явищ, протікаючих на початку надресовки пластини на трубки, і наступному просуванні по ним на схемі позначені передаточні функції  $W_{19}$  та  $W_{20}$ . Пластина на трубках позиціюється програмним пристроєм  $W_{21}$ .

Роль зворотних зв'язків виконують ланки  $W_5, W_6, W_{22}, W_{23}, W_{24}$ . При цьому, щоб відбити послідовне функціонування двох останніх ланок, у схему уведений логічний елемент АБО із двома нормально відкритими контактами  $K_1$  та  $K_2$ .

При заданій продуктивності СГКІС динамічні явища, що протікають і блоках  $A$  та  $B$  за рахунок інтегратора  $W_4$ , не зв'язані один з одним. Через особливості технологічного циклу динамічні процеси з блоку  $B$  не передаються в блок  $B$ , що полегшує дослідження системи диференціальних рівнянь, які описують динамічну поведінку СГКІС.

## Висновки

Наведений підхід дозволяє розглянути комплекс задач, пов'язаних з побудовою коректних математичних моделей СГКІС, причому, може використатися при розробці адаптивних СГКІС. Структурна схема дозволяє вибрати оптимальну послідовність процесу складання в СГКІС та знайти раціональний склад функціональних модулів такої системи.