

УДК 62-525

ЛОГІКО-ФУНКЦІОНАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЦИКЛОВИХ БАГАТОПРИВІДНИХ ГІДРАВЛІЧНИХ СИСТЕМ

Губарев О.П., докт. техн. наук, проф., Левченко О.В., аспірант,
Аверіна Т.В., канд. техн. наук, ст. викл.,
Національний технічний університет України «КПІ»

Розглянуто типові схеми промислового гідроприводу. Визначено можливості вдосконалення систем в напрямку зменшення енерговитрат шляхом узгодження схемних рішень з функціональними та експлуатаційними показниками. Запропоновано виконувати передпроектний аналіз та визначення енергетично ефективних схемних рішень, який ґрунтується на результатах моделювання експлуатаційного процесу. Визначено особливості моделювання та розроблено логіко-функціональну модель, сформульовано вимоги до комп'ютерної програми використання моделі.

Typical hydraulic-circuit systems of an industrial hydraulic drive are described in the article. The authors provide the possibilities of improving the systems in terms of power inputs decrease by coordinating the circuit design with functional and operational characteristics. They point out the necessity of some preliminary analysis (the selection of the most energy efficient circuit designs is also needed) which can be carried out on the basis of operational process simulation. The article also shows the peculiarities of simulation, provides a logic-functional model and formulates the requirements to the computer program of applying the model.

Проблема і її зв'язок з науковими та практичними задачами.

Актуальність вибору схемного рішення, яке забезпечить максимальну ефективність роботи системи на протязі строку експлуатації, є наслідком росту цін на енергоносії, збільшення складності систем та їх продуктивності. З урахуванням цих факторів десятки долі відсотка, помножені на строк експлуатації та об'єм випущеної продукції, можуть змінити ставлення розробника до вибору як окремих технічних пристроїв, так і структури та складу системи в цілому. Але, прогнозування відсотків заощадження і змін ефективності системи за великий проміжок часу є складною задачею, котру потрібно розв'язати в стислі строки – на передпроектному аналізі схем.

Постановка задачі. Використання проектувальником попереднього досвіду не достатньо враховує нові задачі та технічні можливості, а засоби моделювання здебільшого спрямовані на визначення динамічних та перехідних характеристик окремого пристрою чи агрегату, які не дозволяють отримати оцінку виробничої ефективності роботи системи в цілому [1,2]. Тому, для вибору схемних рішень потрібен інструментальний засіб, простий у користуванні і достатній для визначення інтегральних оцінок за схемним рішенням та параметрами корисної роботи. З урахуванням задачі загальну модель гідросистеми, яку планується використати для моделювання процесу експлуатації, розділено на три складові: функціональну, логічну і експлуатаційну. (рис.1) Далі здійснюється деталізація складових, із застосуванням модульного принципу будови моделі та бібліотеки схемних рішень [1,3].

Запропоноване рішення. Для визначення ефективності та вибору раціональної схеми необхідно виконати моделювання роботи системи за період строку експлуатації технічного об'єкту. Аналіз промислових систем показує, що кількість виконавчих пристроїв в автоматизованому виробництві в середньому знаходиться в межах (10...50). Постановка повномасштабного модельного експерименту для системи, яка налічує $n \cdot 10$ пристроїв, опис кожного з яких потребує від 30 до 200 параметрів та залежностей (гідравлічна лінія, робоча рідина, клапан непрямої дії, пропорційний клапан, сервопривод, умови та режими роботи) є непридатною за фактором часу та нереальною за параметром складності. Кількість рівнянь такої моделі налічуватиме $n \cdot 10 \cdot (10 \dots 20)$ до яких додаються функції, що мають узгоджувати параметри окремих пристроїв.

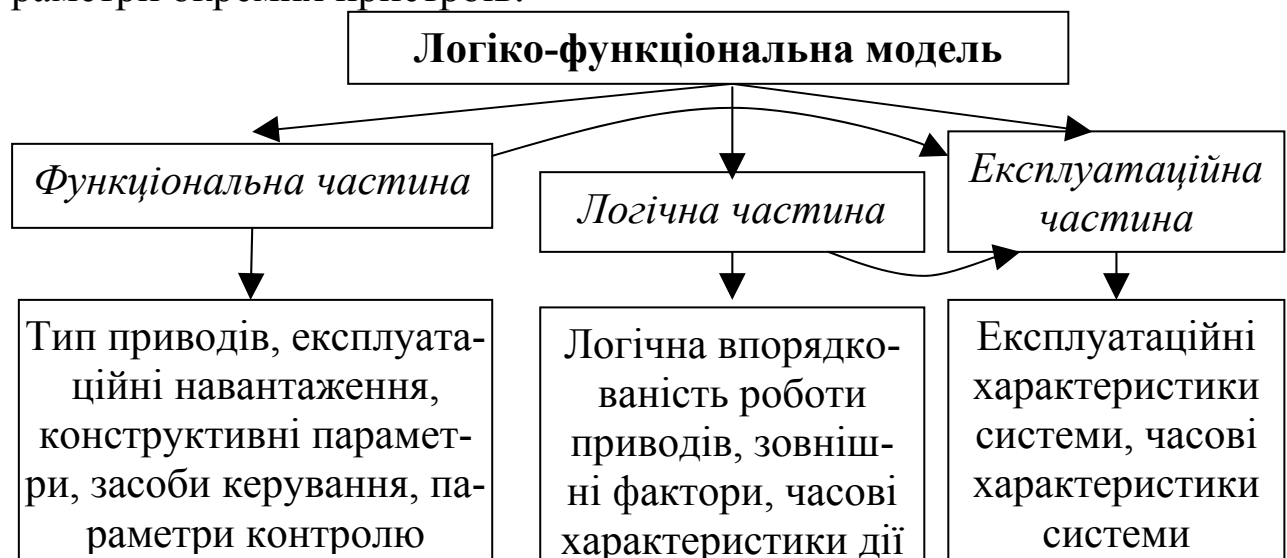


Рисунок 1 – Структура логіко-функціональної моделі

Для передпроектного аналізу схемних рішень моделювання має бути достатньо простим і мінімальним в часі. Так само, як робота розробленої системи складається з наперед відомих дій пристроїв, модель роботи цієї системи може спиратися на відомі параметри цих дій. За такою схемою окремі дії в моделі можуть бути задекларовані відомими залежностями в часі чи в координаті руху, замість їх моделювання за конструктивними та експлуатаційними параметрами. Шаблон декларованої залежності вміщуватиме:

- діапазон змін аргументу (A1, A2);
- початкове значення функції (A3);
- коефіцієнт змін функції (A4);
- коди аргументу та функції (A5, A6);
- сигнальні параметри, які фіксують виконання дії та команду до дії (A7, A8).

Тобто, дія, в виконанні якої зайнято групу пристроїв (наприклад, розподільчий клапан, клапан тиску, циліндр, датчик положення), потребує 8 параметрів за деклараційною схемою моделі, та більше 100 за типовою моделлю. Зауважимо, що сигнальні параметри (A7, A8) включають необхідність функцій, що узгоджують параметри пристроїв на фізичному рівні, що додатково зменшує розмірність моделі на 20...25%.

Таким чином застосування деклараційного опису дій та операцій, що їх виконує система, зменшує розмірність масиву вихідних даних моделі приблизно в $K_{дан}=15...20$ разів. Відповідно кількість операцій процесу моделювання зменшується в $K_{опер} \approx (K_{дан})^2 \approx 225...400$. Враховуючи, що зміна масштабного виміру алгоритму на 2 порядки призводить до якісно нової системи, спрощення може бути ефективним.

З огляду на викладене приймаємо ядро моделі багатопривідної системи з трьома складовими: деклараційний опис дій та операцій, які позначаємо як модель функцій системи E, логічний опис взаємодії пристроїв, що забезпечує порядок їх виконання у експлуатаційному чи технологічному процесі Φ , алгоритмічне визначення прогнозованої ефективності за інтегрованими цикловими показниками та коефіцієнтами їх змін за термін експлуатації Π :

$$M = U(\Phi, E, \Pi) \quad (1)$$

Задачами створення моделі за прийнятою схемою є такі:

- моделювання окремих функцій (дій та операцій);

- моделювання порядку функцій в експлуатаційному чи технологічному циклі;
- розрахунок інтегральних показників роботи системи за цикл;
- розрахунок змін інтегральних характеристик протягом експлуатаційного періоду;
- визначення показників ефективності схемного рішення.

При побудові структури моделі та визначенні її складових застосуємо підхід “зверху до низу”, тобто склад та устрій кожного нижнього рівня моделі будується як необхідний та достатній для забезпечення виконання верхнього рівня моделі.

Визначення показників ефективності схемного рішення базується на вартісних характеристиках проекту системи, обладнання, та витрат, пов’язаних з експлуатацією ($V_{\text{техн}}$, $V_{\text{експл}}$, V_E), та результатах моделювання: продуктивністю, енерговитратами, витратами на модернізацією та обслуговуванням системи (P_r , E , E^* , $V_{\text{мод}}$, $V_{\text{обсл}}$).

Розрахунок змін інтегральних характеристик базується на декларативних функціях та коефіцієнтах $K(D)_{(t)\text{еф}}$ їх змін у часі, втрат енергетичних та продуктивності в процесі експлуатації, початкових даних цих функцій, які є результатом моделювання технологічного циклу.

Визначення інтегрованих циклових показників враховує:

- перелік складових функцій циклу;
- порядок виконання функцій в циклі;
- параметри корисної роботи за кожною функцією;
- параметри для перерахунку корисної роботи до характеристик енергетичного потоку;
- перерахункові залежності визначення спожитої енергії за типовим схемним рішенням;
- алгоритми розрахунку корисної та споживаної енергії системою.

Порядок виконання функцій в циклі за технічним завданням формалізується до логічних виразів команд керування, складу комплексу пристроїв керування та їх тип, характеристик пристроїв керування, характеристик пристроїв контролю за виконанням функцій.

Перелік складових функцій циклу задається в технічному завданні та доповнюється функціями пам’яті і зворотними функціями [3]. Відповідно до нього користувачем формується склад виконавчих пристроїв та приводів системи.

Параметри корисної роботи за функціями забезпечуються характеристиками виконавчих пристроїв, режимами їх роботи, типом об-

ладнання.

Параметри розрахунку енергетичних характеристик за виконаною корисною роботою складаються з конструктивних параметрів та характеристик виконавчих пристроїв і допоміжного обладнання, включно з гідравлічними лініями енергопостачання.

Перерахункові залежності визначення спожитої енергії за типовим схемним рішенням будуються для бібліотеки схемних рішень та враховують коефіцієнти корисної дії, системні втрати потужності, кероване узгодження пристроїв-постачальників та пристроїв - користувачів енергії. Алгоритми розрахунку корисної та споживаної енергії базуються на відпрацюванні логічних виразів виконання функцій та енергопостачальних пристроїв за термін одиничного циклу.

Моделювання одиничного циклу здійснюється за логіко-функціональним принципом, а саме: взаємодія пристроїв та порядок виконання окремих операцій забезпечується логічною складовою моделі (складова Φ), визначення кількісних показників окремої дії пристрою у рамках циклу виконується за спрощеною моделлю (складова E), з використанням попередніх відомостей про технологічний зміст дії, застосоване обладнання та його фізико-енергетичні і конструктивні показники, визначення ефективності (складова Π) базується на результатах моделювання:

$$M = ((\Phi \cup E), \Pi) = \left\{ \left. \begin{array}{l} Y_1 \leftarrow \Phi_1(\{X_i, X_{\bar{i}}\}_n) \\ Y_{\bar{1}} \leftarrow \Phi_{\bar{1}}(\{X_i, X_{\bar{i}}\}_n) \\ \dots \\ Y_m \leftarrow \Phi_m(\{X_i, X_{\bar{i}}\}_n) \\ Y_{\bar{m}} \leftarrow \Phi_{\bar{m}}(\{X_i, X_{\bar{i}}\}_n) \\ \dots \\ Y_n^* \leftarrow \Phi_n(\{X_i, X_{\bar{i}}\}_n) \\ Y_{\bar{n}}^* \leftarrow \Phi_{\bar{n}}(\{X_i, X_{\bar{i}}\}_n) \end{array} \right\} \cup \left\{ \begin{array}{l} X_1 \leftarrow \Theta_1(Y_1, \{\Pi_{1k}\}_{r1}) \\ X_{\bar{1}} \leftarrow \Theta_{\bar{1}}(Y_{\bar{1}}, \{\Pi_{\bar{1}k}\}_{r\bar{1}}) \\ \dots \\ X_m \leftarrow \Theta_m(Y_m, \{\Pi_{mk}\}_{rm}) \\ X_{\bar{m}} \leftarrow \Theta_{\bar{m}}(Y_{\bar{m}}, \{\Pi_{\bar{m}k}\}_{r\bar{m}}) \\ \dots \\ X_n^* \leftarrow \Theta_n(Y_n, \{\Pi_{nk}\}_{rn}) \\ X_{\bar{n}}^* \leftarrow \Theta_{\bar{n}}(Y_{\bar{n}}, \{\Pi_{\bar{n}k}\}_{r\bar{n}}) \end{array} \right\}, \left. \begin{array}{l} Pr \\ E \\ E^* \\ B_{\text{мод}} \\ B_{\text{обсл}} \\ B_{\text{техн}} \\ B_E \end{array} \right\}, (2)$$

де Y_i та $Y_{\bar{i}}$ логічні вирази команд i -го привода у вигляді функцій від сигналів стану, $\{X_i, X_{\bar{i}}\}$ - сигнали контролю виконання дій i -го привода, Θ_i - спрощений опис дії i -го привода, $\{\Pi_{ik}\}_{ri}$ - набір параметрів, що визначають дію i -го привода, n - кількість задіяних в системі приводів і модулів, * - позначення пристроїв енергетичного рівня.

Виконання кожної дії в моделі позначається зміною сигналів стану $\{X_i, X_{\bar{i}}\}$, який використовується в логічній складовій для вироблення нових команд, що розпочинають моделювання наступних за

циклом дій. Отримання кількісних значень фізичних показників здійснюється за декларованими функціями роботи пристроїв при виконанні корисної роботи. Функції обраховуються за лінійними залежностями, константами чи за табличними значеннями, що їх у розрахунках замінено поліномами. При розрахунках використано експлуатаційні показники виконуваних дій, наприклад, корисна робота i -го приводу в j -му такті $A(j)_i$, його технологічне навантаження $F+(j)_i$ і швидкість $V(j)_i$, а також час виконання функції $t(j)_i$ і коефіцієнт завантаження приводу. У разі невизначеності параметрів використано середню потужність за такт i -го пристрою $N(j)_i$, або функція змін потужності у часі $N(t)_i$.

Узгодження енергетичних показників на протязі дії, такту та циклу здійснюється за алгоритмом, що відображає варіант запропонованої схеми енергетичного рівня, та складу модулів виконавчого рівня, обраних за бібліотекою [4].

Відповідно до результатів виконаного аналізу, використання властивості циклічності систем дозволяє прогнозувати певні їх характеристики на строк експлуатації технічного об'єкта, спираючись на показники одиничного циклу. Ці характеристики є інтегрованими для системи в цілому, а разом з вартістю устаткування та обслуговування системи є передумовою визначення ефективності системи за строк експлуатації.

Висновки. Побудова моделі за логіко-функціональним принципом дозволяє моделювати експлуатаційний цикл систем з $5 \div 50$ гідроприводами та визначати інтегральні показники цього циклу. Застосування параметрів, які відображають вплив на циклові показники строку та умов роботи системи, може бути використано для прогнозування змін експлуатаційних властивостей.

Розподілення моделі системи на функціональну, логічну та експлуатаційну складові дозволяє використати декларативні дані щодо окремих дій ще до вибору певного обладнання, і надає передумови для передпроектного аналізу схемних рішень з урахуванням прогнозованого експлуатаційного навантаження.

Список джерел.

1. Mechatronika/ pod kier. Dietmara Schmida.- Polish edition REA, Warshawa.- 2002.- 384p.
2. Proportional- und Servoventil-Technik Der Hydraulik Trainer Band 2/ R. Ewald, J. Hutter, D. Kretz, A. Schmitt, Mannesmann Rexroth GmbH, Lohr am Main, Würzburg 1998, 304 S.
3. Губарев А.П. Причинно-следственная модель объектов гидропневмоавтоматики – особенности и свойства.-К.: НТУУ «КПИ», 1999.-107с.
4. Губарев А.П., Козинец Д.А., Левченко О.В. Проверка логики функционирования цикловых систем гидравлических и пневматических приводов/Всеукраїнський науково-технічний журнал “Промислова гідроліка і пневматика” №3.- 2004.- с. 64-69.

Дата поступления статьи в редакцию: 3.11.08