

## СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З ІНДУКЦІЙНИМ РЕГУЛЯТОРОМ В КОЛІ РОТОРА

Головань В.І., к.т.н., доц.

Чернівецький факультет Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”  
Україна, 58000, Чернівці, вул. Головна, 203А  
тел./факс (0372) 7-24-15

Головань І.В.

Інститут електродинаміки НАН України  
Україна, 03680, Київ-57, пр-т Перемоги, 56  
тел. (044) 454-26-37

*В роботі розглядаються основи організації, моделювання та прийняття рішень в ієрархічно складній системі асинхронних двигунів з індукційним регулятором в колі ротора.*

*В работе рассматриваются основы организации, моделирования и принятия решений в иерархически сложной системе асинхронных двигателей с индукционным регулятором в цепи ротора.*

Робота присвячена системному аналізу асинхронних двигунів (АД) з індукційним регулятором (ІР) в колі ротора (АДІР), який призначений для електроприводів з інтенсивними режимами роботи. Приймаючи в якості критеріїв вид входу і виходу, АДІР можна віднести до класу машин, в яких вхідними і вихідними величинами є маса, енергія і інформація [1]. Із інформаційної моделі відносин зв'язку в комплексній системі [2] випливає, що дані експлуатації в сфері задовільнення потреб ставлять умови задачі для проектування, конструювання та дослідження. Цим підкреслюється значення необхідної єдності операційної дії при задовільненні потреб. Таким чином, можна сформулювати, що асинхронний двигун з індукційним регулятором в колі ротора – це технічний засіб, оснований на визначенні дій, визнаних функціонуванням масогабаритних параметрів, енергії і інформації, які розглядаються в часі і просторі.

Основною особливістю АДІР являється: наявність великої кількості різнорідних елементів (підсистем); складний характер, неоднорідності зв'язків між підсистемами; складність функцій, які виконуються системою; наявність невизначеності в описі системи; складність визначення (організації) необхідної управляючої дії; наявність багатосистемних та різних по типу зв'язків між окремими елементами системи, які характеризуються відповідним порядком, внутрішніми властивостями, направленістю і виконання функцій системи [3]. Виходячи з цих властивостей, АДІР можна прийняти як складну систему.

Ефективність процесу розробки технічних рішень (ТР) складної системи АДІР залежить в великій мірі від концентрації роботи в цілому та від її комплексності і системності [4,5]. Запропонована авторами послідовність розробки інформаційної моделі складної системи АДІР [6] дає можливість використовувати строги наукові методи перетворення інформації.

Виходячи з позицій системного підходу та [6,7] представимо складну систему АДІР в вигляді “кортежного” (тобто “в вигляді послідовного перерахування”) визначення [8]:

$$\Sigma: \{\{M\}, \{X\}, F\}, \quad (1)$$

де  $\Sigma$ - система;  $M$  – елемент (пристрій-матеріальний, енергетичний, інформаційний), який володіє рядом важливих властивостей, але внутрішня будова (зміст) якого безвідносна до мети розглядання;  $\{M\}$  – сукупність елементів, яка розглядається в системі;  $M \in \{M\}$  – належність елемента сукупності;  $X$  – зв'язок – обмін між елементами матерією (речовиною), енергією, інформацією одиничним актом якого виступає вплив (дія);  $\{X\}$  – сукупність зв'язків;  $F$  – функція (нова властивість) системи.

Позначаючи всі дії, наприклад, елемента  $M_1$  на  $M_2$  через  $X_{12}$ , елемента  $M_2$  на  $M_1$  через  $X_{21}$  і т.д. систему АДІР можна надати як сукупність взаємопов'язаних елементів (відношень), які володіють зв'язками, що дозволяють з допомогою переходів від елемента до елемента з'єднати два довільних елементи сукупності; властивостями (призначеннями, функціями), відмінними від властивостей окремих елементів сукупності.

Етап дослідження, тісно пов'язаний з науково-інженерною дисципліною–системним аналізом [8-12].

Визначення процедур прийняття рішення і пов'язаної з цим організації системи складають актуальну проблему створення та експлуатації складної системи АДІР.

Системний аналіз складної системи АДІР розглядає проблеми прийняття рішень в умовах аналізу великої кількості інформації різної природи. Метою застосування системного аналізу до конкретної проблеми складної системи АДІР являється підвищення ступені обґрунтованості рішення, яке приймається, розширення чисельності варіантів, серед яких проводиться вибір.

До основних показників, які визначають ефективність процесу розробки технічних рішень, АДІР можна віднести (рис.1) [13,14,15]: категорії функціонування ТР; критерії, які характеризують процес створення ТР; фактори, які визначають ефективність ТР.

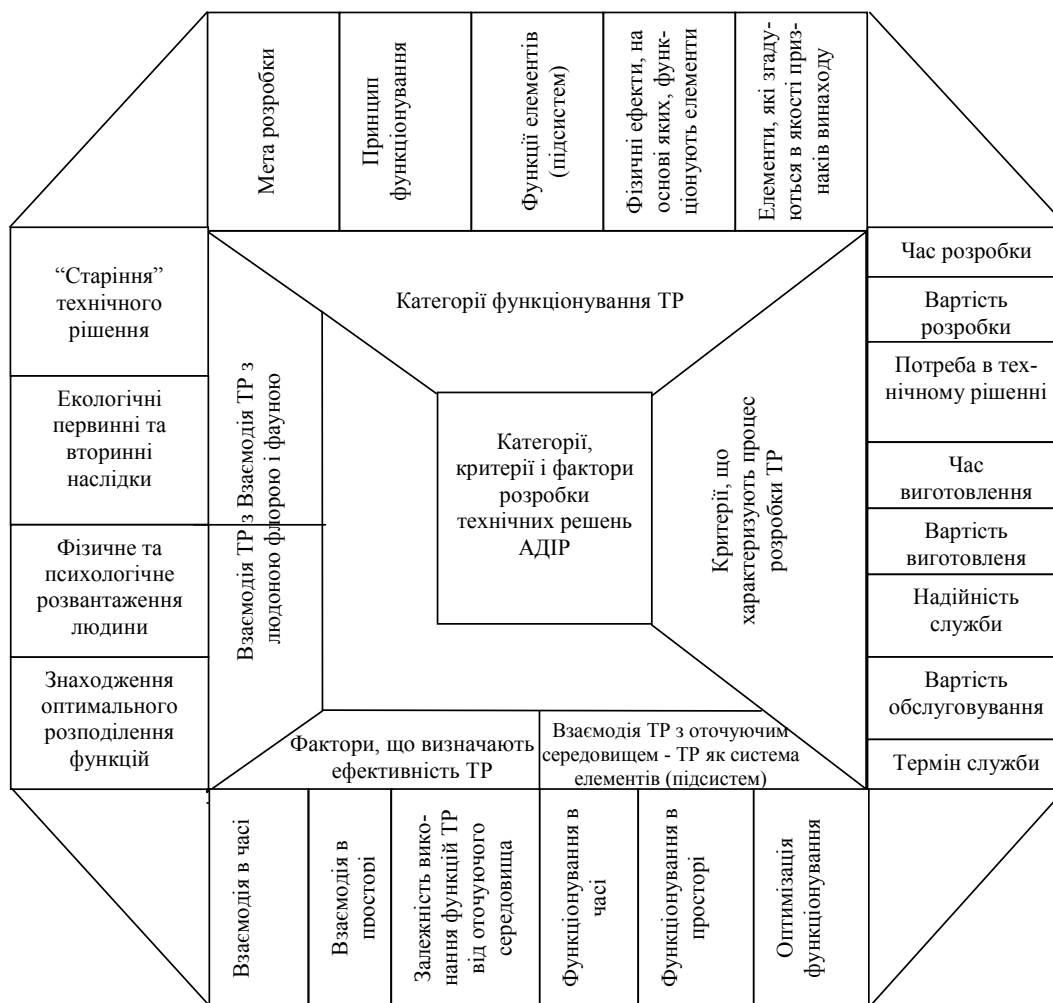


Рис. 1. Показники, що визначають ефективність процесу розробки технічних рішень АДП

Протиріччя між зростаючою складністю ТР, з однієї сторони, та підвищуючими багатофакторними вимогами до них, з іншої сторони, вирішуються при системному розгляді всіх станів життєвого циклу АДП.

Системний аналіз складної системи АДП в широкому розумінні, як методологія (сукупність методичних прийомів) постановки і рішення задач, побудови і дослідження систем, тісно пов'язана з математичним моделюванням. Для обґрунтованого дослідження складної системи АДП пропонується загальна методика (тобто послідовність орієнтуючих дій) в вигляді стадій системних досліджень [8].

Стадія 1 - виявлення головних функцій (властивостей, мети, призначення) системи. Формування (вибір) основних предметних понять, які використовуються в системі.

На цій стадії вирішуються питання визначення основних виходів в системі, тобто тип виходу: матеріальний, енергетичний, інформаційний. Вони повинні бути віднесені до будь-яких фізичних або інших понять: вихід АДП – масогабаритні параметри (які?), вихід двигуна – потужність (яка?), вихід системи автоматизованого проектування АДП – конструкторська документація (креслення чого?) і т.д.

Із-за складності АДП розглядається не сама система, а формальний опис тих її особливостей, які сут-

теві для мети дослідження. Якщо описати проходження сигналу в середині моделі (1) формальним чином (диференційними рівняннями або оператором “вхід-вихід”), то можна без самої системи визначити вихідні сигнали по вхідних, і на основі введення дій, параметрів і правил представити модель як кортеж

$$\Sigma: \{x^+, X^-, \alpha, t, y, S, V, \bar{V}\}, \quad (1)$$

$$x^+ \in X^+, x^- \in X^-, \alpha \in A, t \in T, y \in V, \quad (2)$$

де набір вхідних дій (входів) в системі –  $x^+$  і вся їх доступна сукупність –  $X^+$ ,  $x^+ \in X^+$ ; набір вихідних дій (виходів) в системі –  $x^-$  і вся їх можлива сукупність –  $\bar{O}^-$ ,  $x^- \in X^-$ ; набір параметрів, які характеризують властивості системи, постійні на протязі всього часу розглядання і впливають на вихідні дії системи, –  $\alpha$  і вся їх допустима сукупність –  $A$ ,  $\alpha \in A$ ; набір параметрів, які характеризують властивості системи і змінюються під час її розглядання (параметри стану), –  $y$  і вся їх допустима сукупність –  $Y$ ,  $y \in Y$ ; параметр (або параметри) процесу в системі –  $t$  і вся їх допустима сукупність –  $T$ ,  $t \in T$ ; правило  $S$  (функція, оператор) визначення параметрів стану системи по входах  $x^+$ , постійних параметрах  $\alpha$  і параметру процесу  $t$ . Необхідно завжди розрізняти величини і правила їх визначення. Запис  $y=S(x^+, \alpha, t)$  означає знаходження параметру по цьому правилу, в той час як про величину  $y$

можна говорити і поза правилами її визначення; правило  $V$  (функція, оператор) визначення вихідних характеристик системи по входах  $x^+$ , постійних параметрах  $\alpha$ , параметру процесу  $t$  і параметрах стану  $y$ , тобто  $x^- = V(x^+, \alpha, t, y)$ ; правило  $\bar{V}$  (функція, оператор) визначення вихідних характеристик системи по входах  $x^+$ , постійних параметрах  $\alpha$ , параметру процесу  $t$ . Вказане правило  $\bar{V}$  може бути отримано підстановкою правила  $S$  в правило  $V$ , що дає виключення із нього параметрів стану:  $x^- = \bar{V}(x^+, \alpha, t)$ .

Основні властивості складної системи АДІР в моделі (2) відображаються слідуючим чином: лінійність або нелінійність розшифровується як лінійна (нелінійна) залежність від входів операторів  $S$  (лінійність або нелінійність параметрів етапів) або  $\bar{V}$  (лінійність або нелінійність моделі в цілому); неперервність або дискретність виражаємо в структурі множин (сукупностей), яким належать параметри стану, параметр процесу та виходи системи (дискретність множин  $Y, T, \bar{O}^-$  - веде до моделі, яка називається дискретною, а їх неперервність – до моделі з неперервними властивостями); детермінованість або стохастичність – якщо в моделі серед величин  $x^+, a, y, x^-$  є випадкові, тобто які визначаються тільки деякими вірогідними характеристиками, то модель називається стохастичною (вірогідною, випадковою). При малих відхиленнях від фіксованих значень модель вважається детермінованою, а відхилення результату досліджується методами оцінок або аналізу її чутливості. При значних відхиленнях застосовуються методи стохастичного дослідження; стаціонарність або нестаціонарність виражається в незмінності в часі фізичних величин. Відображення стаціонарності в формальному записі розглянемо розширений вид правила  $S$ , в яке введена його залежність від початкових умов процесу  $t_0, y_0$  і залежність входів від параметрів  $t$ :

$$y = S(x^+(t), a, t, t_0, y_0).$$

Тоді для стаціонарного процесу має місце рівність  $S(x^+(t+Q), a, t+Q, t_0+Q, y_0) = S(x^+(t), a, t, t_0, y_0)$ .

Аналогічно можна визначити стаціонарність правил  $V$  і  $\bar{V}$ ; кінцевості або безкінцевості числа входів, виходів, параметрів стану, постійних параметрів системи (на практиці використовуються тільки моделі з кінцевомірністю всіх перерахованих складових).

Другою загальною властивістю моделі являється вид складових кортежа, коли входи, виходи і параметри  $\alpha$  в системі - це числа, а правила  $\bar{V}$  - математична функція, або коли входи і виходи є функції параметра процесу. Тоді правила  $S, V, \bar{V}$  являються або функціями, або операторами і функціоналами. Функціями, від параметрів стану можуть бути і ті параметри системи, які ми раніш називали постійними. Ця ситуація зручна для дослідження моделі на ЕОМ.

Все це дозволяє вважати знакові моделі найвищою ступінню і рекомендувати прагнути до такої форми моделювання.

Стадія 2 - виявлення основних частин (модулів) з урахуванням їх єдності в системі і їх функцій.

На цій стадії розглядається внутрішній зміст системи, виявляється із яких великих частин (модулів) вона складається і яку роль кожна із них відіграє в системі. Формуються первинні відомості про структуру і характер основних зв'язків (1). Такі відомості зручно представляти і вивчати в вигляді структурної схеми.

Схематичне зображення модуля надамо на рис.2.

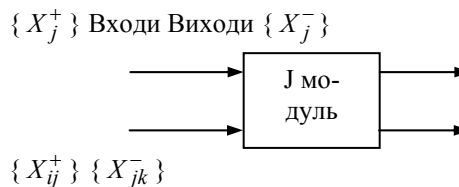


Рис.2. Модуль J

Тут  $X_j^+$  – зовнішні (від “не-системи”) дії на елементи модуля  $J$ ;  $X_{ij}^+$  - зв'язки від інших елементів системи на елементи модуля  $J$ ;  $X_{jk}^-$  - зв'язки (дії) від елементів модуля  $J$  на інші елементи системи;  $X_j^-$  - зв'язки (дії) – елементів модуля на “не-систему”, їх також можна розглядати як частину  $F_j$  функції системи  $F$ , яка реалізується модулем  $J$ . В даному випадку маємо  $\{X_j^-\} = F_j$ . Представимо модуль у вигляді перетворення

$$(\{X_j^+\}, \{X_{ij}^+\}, J) \rightarrow (\{X_j^-\}, \{X_{jk}^-\}). \quad (3)$$

Система в широкому розумінні – еквівалент поняття математичної моделі (ММ) [9-12] і задається парою множин  $U, Y$  та відношень  $U^*Y$ , які формалізують зв'язок (залежність) між множинами входів –  $U$  та множинами виходів –  $Y$ . Відповідно [6,7] відношенням  $R^*Y$  (відношенням між  $X$  і  $Y$ ) являється підмножина множини  $X^*Y$ , тобто деяка сукупність пар  $R = \{(x, y)\}$ , де  $x \in X, y \in Y$ . Функціональний зв'язок (залежність)  $y = x^2$  може бути представлений як відношення між множинами  $X = (-\infty, \infty), Y = [0, \infty)$ , яке включає пари  $(x, y)$ , для яких  $y = x^2$ .

З'єднання підсистем також являється системою і задається відношенням. Наприклад, послідовне з'єднання підсистеми  $S_1 \subset U_1^*Y_1, S_2 \subset U_2^*Y_2$  є відношення  $S \subset U_1^*Y_2$  таке, що  $(u_1, y_2) \in S$ , якщо існує  $y_1 \in Y_1, u_2 \in U_2$ , які задовільняють умови  $(u_1, y_1) \in S_1, (y_1, u_2) \in R, (u_2, y_2) \in S_2$ , де  $R \subset Y_1^*U_2$  – відношення, яке визначає зв'язок між  $y_1$  і  $u_2$ . В самому простому випадку може бути  $Y_1 = U_2$ , а  $R$  – відношення тотожності,  $(y_1, u_2) \in R$ , якщо  $y_1 = u_2$ . Таким чином, можна визначити скільки завгодно складні системи, виходячи з простих.

Структуру системи АДІР зручно надати у вигляді графічної схеми, яка складається із ячеек (груп), які з'єднуються між собою лініями (зв'язками). Схеми являються структурною, яка незмінна на протязі розгляду і дає уявлення про систему в цілому. Для символічного запису структури вводиться замість сукуп-

ності елементів  $\{M\}$  виразу (1) сукупність груп елементів (підсистем)  $\{\hat{M}\}$  та сукупність зв'язків між цими групами (підсистемами)  $\{\hat{X}\}$  [8], тобто:

$$\Sigma\Sigma: \{\{\hat{M}\}, \{\hat{X}\}\} \quad (4)$$

Структуру (3) можна отримати із (1) об'єднанням елементів в групи. Необхідно відмітити, що функція  $F$  системи (3) як в (1) упущена, оскільки структура може бути в відповідній мірі безвідносна до неї. Різномірність елементів можна представити записом:

$$\{M\}: \{\{M^I\}, \{M^{II}\}, \dots, \{M^R\}\} \quad (5)$$

Аналогічно може бути записана і різномірність зв'язків (1). Таким чином, вже на цій стадії необхідно звернути увагу на, так звані, системоутворюючі фактори, тобто на ті зв'язки, взаємоумовленості, які і роблять систему системою.

Стадія 3 - виявлення основних процесів в системі, їх ролі, умов здійснення, стадійності, скачків, зміни стану і т.п. в функціонуванні системи; виділення основних управляючих факторів.

На цій стадії вивчається динаміка найважливіших змін в системі, хід подій в ній, вводяться параметри стану, розглядаються фактори, які змінюють ці параметри і забезпечують протікання процесів, а також умови початку та кінця процесів і т.д. Вивчається, чи управляємі процеси і чи сприяють вони здійсненню системою своїх головних функцій, виясняються основні управляючі дії, їх тип, джерела і ступінь впливу на систему.

Для символічного запису процесу введемо багатомірну (по числу характеристик) величину  $y$ , яка описує їх конкретні значення. Всю множину цих можливих величин позначимо через  $Y: y \in Y$ . Введемо параметр процесу  $t$  множину його значень  $T$  і опишемо  $y$  як функцію від цього параметру:  $y=y(t)$ . Тоді процес  $S_{tot}$  є деяке правило переходу від ситуації із значенням параметру  $t_0$  до ситуації із значенням  $t=t_0$  через всі його проміжні неперервні або дискретні значення:

$$S_{tot}(y(t_0))=y(t), y \in Y, t \in T. \quad (6)$$

Цьому процесу буде відповідати відображення множин

$$T^*Y \rightarrow Y \quad (7)$$

Процеси в системі можуть відігравати різну роль. Так в системі автоматизованого проектування процес проектування, як рух від технічного завдання до робочих креслень, являється основною функцією системи. І в цілому функціонування (а також створення) складної системи АДІР звичайно являється процесом.

При модульній побудові системи локальні цілі виступають як вимоги до виходів (вихідних характеристик) модулів. Продумані вимоги на виходи погоджують модулі так, що система, яка з них складається виконує глобальну мету.

Таким чином, локальні цілі виступають важливим регулятором організації частин і елементів в цілеспрямовану систему. Цілеспрямоване втручання в процес в системі являється управлінням.

Строгий підхід до управління вимагає чіткого, однозначного визначення: а) того, чим ми розпоряджаємося; б) які межі, в яких ми можемо вибрати; в) який вплив даного управління на процес (тобто на набір станів системи), який відповідний впорядкованій неперервній або дискретній зміні деякого параметру, який визначає характеристики (властивості) системи.

Загальний вигляд символічного запису процесу  $S_{tot}^u$  з управлінням  $u$  із деякої можливої сукупності управлінь  $U$  представимо в вигляді:

$$S_{tot}^u(y(t_0)) = y(t, u), y \in Y, t \in T, u \in U \quad (8)$$

Цьому управляемому процесу буде відповідати відображення множин

$$U \times T \times Y \rightarrow Y. \quad (9)$$

В (8) відображена тільки управляємість, варіативність процесу, але не його мета. Процес, який приводить до виконання мети позначимо через  $f$  для тих вихідних дій, на які можна впливати вибором управління  $u$ . Величини  $f$ , які являються критеріями, є частина виходів  $X_{jk}^-$  і  $X_j^-$  модуля або системи в цілому.

Позначимо бажаний вид вихідних дій через  $f_G$ , де  $G$  – є символ поставленої мети. Критерії  $f$ , відповідно вважаємо залежними від характеристик  $y$  і  $f=f(y)$ .

Нехай існує момент  $t_G$  (або він заданий) і існує стан  $y_G$ , який може бути досягнутий мети  $f_G$ , управляємим процесом  $S_{tot}^u$ . Тоді управління  $U_G$ , яке дозволяє виконати мету  $f_G$ , визначається як частина тріади  $(t_G, y_G, u_G)$ , яка задовольняє співвідношенням

$$S_{tot}^u(y(t_0)) = y(t, u), f(y) = f_G, y \in Y, t \in T, u \in U \quad (10)$$

Стадія 4 – виявлення основних елементів та характеру зв'язків "не-системи", з якими зв'язана система.

На цій стадії досліджуються основні зовнішні дії на систему (входи). Визначається їх тип (матеріальний, енергетичний, інформаційний), ступінь впливу на систему, основні характеристики. Фіксуються межі того, що вважається системою, визначаються елементи "не-системи", на які направлені основні вихідні дії. Тут необхідно прослідкувати еволюцію системи, цілі її формування, тому що це веде до розуміння структури та особливостей системи.

Приведене відношення відображує в абстрактному вигляді атрибути (властивості) АДІР, які притаманні нашому інтелектуальному уявленню про систему: цілісність та структурованість [8-10]. Цілісність (єдність) означає, що система АДІР відділена від зовнішнього середовища; середовище може оказувати відгук (реакцію) на ці дії через вихід. Структурованість означає, що система АДІР розділена в середині на декілька підсистем, які пов'язані і взаємодіють між собою так само, як ціла система взаємодіє з зовнішнім середовищем.

Стадія 5 – виявлення розгалуженої структури, ієрархії, формування уявлень про систему як про сукупність модулів зв'язаних входами – виходами.

Підкреслимо, що функціонування системи АДІР – це процес, який розгортається в часі, тобто множини можливих входів і виходів  $U, Y$ :

$$U = \{u: T \rightarrow U\}, Y = \{y: T \rightarrow Y\}, \quad (11)$$

де  $T$  – множина моментів часу, на якому розглядається система.

Стадія 6 – виявлення всіх елементів і зв'язків, важливих для поставленої мети. Їх віднесення до структури ієрархії в структурі. Ранжування елементів і зв'язків по їх вагомості.

Стадії 5 і 6 тісно пов'язані одна з одною, тому їх обговорювати бажано разом. При деталізації необхідно розглянути зв'язок системи з “не-системою”. На стадії 6 сукупність зовнішніх зв'язків вважається проясненою настільки, що можна говорити про доскональне знання системи. Ці стадії підводять підсумок загальному, цільному дослідженню системи.

Зробимо важливе розширення формального запису моделі (2) – включимо в неї управління. Розглянемо управляемий процес (правило переходу  $S^u$ ). Нехай це правило  $S^u$  дозволяє вибором управління  $u$  із деякої фіксованої сукупності  $U$  досягати значення параметра стану  $y_0$ , яке в свою чергу забезпечує отримання управляємих вихідних дій  $f$  в вигляді  $f_G$  відповідним виконанням мети  $G$ . Короткий запис управляємої моделі має вид

$$\Sigma^u: \{x^+, x^-, f_G, a, u, t, y, S^u, V, \bar{V}^u\},$$

$$x^+ \in X^+, x^- \in X^-, a \in A, u \in U, t \in T, y \in Y. \quad (12)$$

Складова  $u$  в (12) вказує на ті величини і об'єкти, якими можемо оперувати для виконання мети  $G$ . Складова  $f_G$  в (12) є сама мета  $G$ , записана в вигляді моделі. Для перетворення неуправляємої системи в управляєму із складових кортежа (2) виділяється управління: із входів  $x^+$  (частина із них можуть бути управляємими, вибираємими, контролюємими); із параметрів системи  $\alpha$  (це типово для процесу проектування – вибирати розміри, масу, матеріал, структуру системи і т.д.) і тим самим створювати систему з потрібними властивостями.

Модулі (2) і (12) використовуються для з'ясування математичного виду сукупностей (множин)  $x^+, x^-, A, T, U, Y$ , відношення правил  $S, V, \bar{V}$  до відповідних математичних класів операторів  $f_G$ , що приводить до строгого математичного формулювання (2 і (12) і перетворюють ці моделі в математичні моделі високого рівня узагальнення.

Аналіз конкретної моделі по схемі (2) і (12) заключається в віднесенні різних елементів, величин, понять до приведених складових кортежів, виявлення внутрішньої структури системи, складання та коректування її моделі, введення управління в модель, виявлення важливих сторін проектування. Це допомагає не тільки ефективно будувати оператори  $S, V, \bar{V}$ , але і виявляти надлишок або недостачу величин і параметрів моделі, врахувати обставини, які раніше не приймалися до уваги, а то і в цілому переглянути адекватність даної моделі реальній системі.

На (рис.3) представлена відповідна послідовність дій (етапів) при постановці і рішенні задач АДІР, яку будемо називати алгоритмом (методикою) системного аналізу. Ця методика допомагає більш обдуманно ставити і вирішувати прикладні задачі. Якщо на якомусь етапі виникають труднощі, то необхідно повернутись

на один із попередніх етапів і змінити (модифікувати) його. Якщо і це не допомагає, то це означає, що задача оказалась надто складною і її необхідно розділити на декілька більш простих підзадач, тобто провести декомпозицію [3].

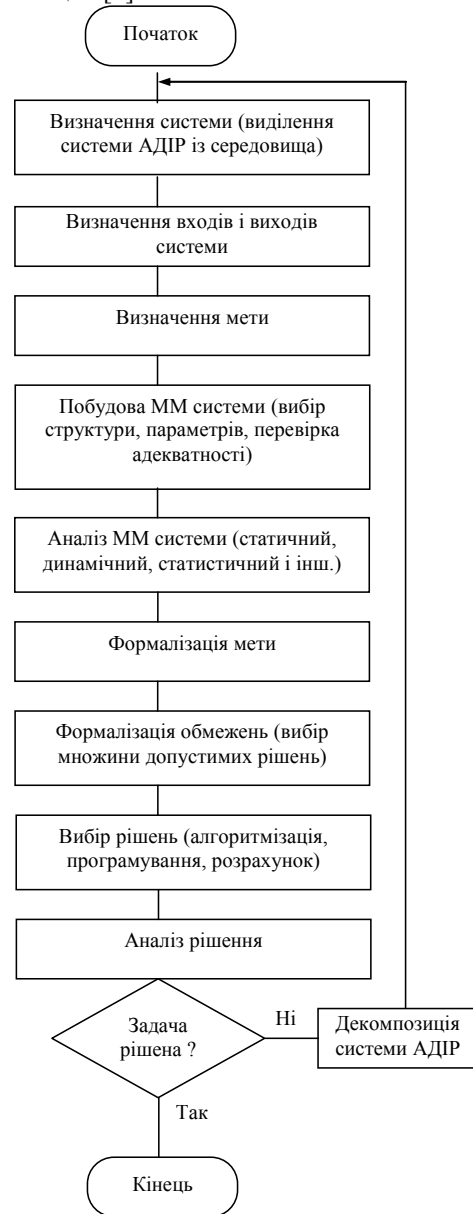


Рис.3. Послідовність етапів при постановці і рішенні задач АДІР

Оскільки АДІР призначені для електроприводів з інтенсивними режимами роботи, тобто в системах із випадковими діями та процесами [16], то останні можуть мати такі “погані” вірогідні властивості, що математична оцінка їх впливу на систему являється проблемною. В такому випадку для отримання уявлення про можливі межі або типи поведінки системи при впливі на неї управліннь, випадкових дій, змін в структурі і інших факторів, дослідження доцільно проводити на базі експериментів з різними видами цих дій поступово отримуючи відповідно картину їх впливу на систему.

Проведення моделювання процесів з багаторазовим відслідковуванням ходу їх протікання кожний раз для різних умов приводить до імітаційного моделю-

вання [8]. Для виявлення “чутливості” рішення необхідно враховувати можливо більше різновидностей в початкових даних, змінюючи значення внутрішніх параметрів системи, багатоваріантний режим роботи, вибір управління при відсутності чіткої мети і інше.

Одним з ефективних шляхів зменшення трудомісткості розробки імітаційних моделей складної багатопараметричної системи АДПР являється створення спеціалізованих мов моделювання та пакетів прикладних програм. Широке застосування для реалізації імітаційного моделювання отримали мови, основані на засобах, які використовуються для організації процесу імітаційного моделювання, що визначені в особовому системному класі *simulation*. В основі засобів моделювання в класі *simulation* лежать поняття системного часу та процесу.

В імітаційних моделях з використанням засобів системного класу *simulation*, об’єкти моделюємої системи АДПР представляються процесами, а робота окремих процесів в їх взаємодії відображають функціонування системами. Кількість процесів і їх взаємозв’язки можуть змінюватися в ході роботи моделі, що дозволяє легко описувати динаміку системи АДПР із змінною структурою. До об’єктів належать програмні компоненти, які володіють власними локальними даними (атрибутами) і спроможні виконувати відповідні дії. Атрибутами можуть служити змінні масиви і процедури, які допустимі в мовах високого рівня Фортран, Сі, Паскаль. Специфічні риси мови моделювання проявляються в Statetiow (подійному - моделюванні) (MATLAB-6,5, розділ “Simulink”) в наявності гнучких і ефективних засобів, які дозволяють порівняно просто вводити розширення мови, які орієнтовані на конкретні області застосування і використання їх для організації імітаційного моделювання складної системи АДПР на ЕОМ.

Використовуючи представлений методологічний підхід отримують практичну реалізацію - закон регулювання  $\vec{\omega}(t, \vec{y}) = R^{-1}(t)B'(t)K(t)\vec{y}(t)$  і модель управляємої системи  $\frac{d\vec{y}}{dt} = A(t) + S(t)K(t)\vec{y}(t)$  АДПР технологічного процесу бурякопідйому буряконасосом УС-2 на базі електроприводу АКІР 104-8М при різко - змінних інтенсивних режимах роботи [16].

#### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. Пер. с польск. – М.: Мир, 1981.-456с.
- [2] Головань В.І., Головань І.В. Ресурсозберігаючі аспекти при розробці технічних рішень АДПР в колі ротора // Електротехніка і електромеханіка. - Харків: НТУ “ХПІ” .-2003.-№2.-С.19-23.
- [3] Головань В.І. Головань І.В. Побудова ієрархічно погоджених рішень асинхронних двигунів з індукційним регулятором в колі ротора // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 4.-К.:.-2004. – С.55-60.
- [4] Александров Л.В., Блинников Н.Н. Программно-целевой подход при разработке технических решений. Обзорная информация.-М.:ВНИИПИ.-1989.-81с.
- [5] Евланов Л.Г. Теория и практика принятия решений. - М.: Экономика.-1984.-176с.
- [6] Головань В.І., Головань І.В. Інформаційна модель технічних рішень асинхронних двигунів з індукційним регулятором в колі ротора // Електротехніка і електромеханіка. - Харків: НТУ “ХПІ”.-2003.-№3.-С.19-23.
- [7] Головань В.І., Головань І.В. Автоматизированное проектирование индукционного сопротивления асинхронного двигателя // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 5. - К.: - С.100-105.
- [8] Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н. Введение в системный анализ: Учеб.пособие / Под ред. А.А.Пет-росяна. - Л.: Ленинградский университет, - 1982.-232с.
- [9] Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. М.: Высшая школа, 1989.-367с.
- [10] Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981.-488с.
- [11] Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / Под ред. В.Г.Лазарева и др. М.: Радио и связь, 1983.-190с.
- [12] Дудорин В.И., Алексеев Ю.Н. Системный анализ экономики на ЭВМ. М.: Финансы и статистика, 1986.-190с.
- [13] Головань В.І., Головань І.В. Процесс разработки технических решений асинхронных двигателей с индукционным сопротивлением в цепи ротора / Информ.лист. – Черновцы: ЦНТЭИ. – 1993. - №10. –6с.
- [14] Головань В.І. Показатели определяющие эффективность процесса разработки технических решений асинхронных двигателей с индукционным сопротивлением в цепи ротора/ Информ.лист. – Черновцы: ЦНТЭИ. – 1993. – №12-93. –5с.
- [15] Головань В.І., Головань І.В. Прийняття рішень по визначенню критеріїв розробки асинхронних двигунів з індукційним регулятором в колі ротора // Тези доповідей учасників міжнародної наукової практичної конференції “Інтелектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології”. - Чернівці.- 2004.- С.185-186.
- [16] Головань В.І., Головань І.В. Математическая постановка задачи синтеза системы асинхронного двигателя с индукционным сопротивлением в цепи ротора / Технічна електродинаміка. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 4.- К.: - 2002. – С. 37 – 42.

Надійшла 15.10.2004