

СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ СИСТЕМ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ У НАФТОГАЗОВІЙ ГАЛУЗІ ПРОМИСЛОВОСТІ

О.В. Гутак, Ю.Б. Головата, Л.О. Копистинський, Г.Н. Семенцов

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727167,
e-mail: kafatp@ukr.net

Розглядається новітній підхід до побудови систем оптимального керування технологічними комплексами у нафтогазовій галузі промисловості, призначений для автоматизованого керування складними нелінійними об'єктами, що описуються нестационарними стохастичними часовими послідовностями. Розглянуто проблему створення мехатронних систем для керування стохастичними об'єктами в умовах нестационарності, структурної та параметричної невизначеності тощо. Розглянуто структуру системи дуального керування, проілюстровано формування явища синергізму в синергічній мехатронній системі. Показано, що явище синергізму проявляється у перевищенні загального ефекту системи над сумою ефектів окремих елементів, з яких вона складається. Наведено класифікацію інформаційних систем і основні припущення щодо їх створення, функціонування і розвитку. Наведено переваги інтелектуального керування над традиційними. Показано, що синергічний ефект формується в управлінні технологічними об'єктами синергічної мехатронної системи як множина ефектів, отриманих у результаті накладання і синхронізації у просторі і часі: ефекту від використання електромеханічних компонентів об'єкта керування, ефекту від застосування новітньої силової електроніки і мікропроцесорної техніки, ефекту від ІТ-технологій, ефекту від застосування інтелектуальних технологій керування.

Ключові слова: оптимальне керування, синергічний ефект, інтелектуальні технології керування, ІТ-технології, дуальне керування.

Рассматривается новейший подход к построению систем оптимального управления технологическими комплексами в нефтегазовой отрасли промышленности, предназначенный для автоматизированного управления сложными нелинейными объектами, которые описываются нестационарными стохастическими временными последовательностями. Рассмотрена проблема создания мехатронных систем для управления стохастическими объектами в условиях нестационарности, структурной и параметрической неопределенности. Рассмотрена структура системы дуального управления, проиллюстрировано формирование явления синергизма в синергической мехатронной системе. Показано, что явление синергизма проявляется в превышении общего эффекта системы над суммой эффектов отдельных элементов, из которых она состоит. Приведена классификация информационных систем и основные предпосылки их создания, функционирования и развития. Показаны преимущества интеллектуального управления по сравнению с традиционными. Показано, что синергический эффект формируется в управлении технологическими объектами синергической мехатронной системы как множество эффектов, полученных в результате накладки и синхронизации в пространстве и времени: эффекта от использования электромеханических компонентов объекта управления, эффекта от применения новой силовой электроники и микропроцессорной техники, эффекта от ИТ-технологий, эффекта от применения интеллектуальных технологий управления.

Ключевые слова: оптимальное управление, синергический эффект, интеллектуальные технологии управления, ИТ-технологии, дуальное управление.

The article deals with the modern approach to the construction of technological complex optimal control in the oil and gas industry, designed for automated control of complex nonlinear objects that are described by non-stationary stochastic time sequences. The problem of creation of mechatronic systems for managing stochastic objects in non-stationary, structural and parametric uncertainty, etc. was investigated. The structure of dual control is viewed; the formation of synergy effects in a synergistic mechatronic system is illustrated. It is shown that the phenomenon of synergy emerges in the excess of an overall system effect over the sum of effects of individual elements it is composed of. The classification of information systems and the underlying assumptions of their creation, operation and development is made. The advantages of intelligent control are compared with the traditional ones. It is shown that a synergistic effect is formed in the management of technological objects of synergistic mechatronic system as the variety of effects obtained in the result of overlaying and synchronization in space and time: the effect of using electromechanical components of control object, the effect of the using modern power electronics and microprocessing technology, effect of IT technologies, the effect of using intelligent control technologies.

Keywords: optimal control, synergistic effect, intelligent control technology, IT technology, dual control.

Вступ. Створення новітніх підходів до побудови систем оптимального керування технологічними комплексами в нафтогазовій галузі промисловості, які, як правило, є нелінійними стохастичними об'єктами, що функціонують за умов апріорної та поточної невизначеності під впливом зовнішніх збурень, є актуальною нау-

ково-прикладною проблемою у зв'язку інтенсивним впровадженням цифрових керуючих обчислювальних комплексів і комп'ютерно-інтегрованих технологій керування [1, 2, 3]. Традиційні підходи до цієї проблеми базуються, як правило, на гіпотезі стаціонарності процесів і лінійності математичних моделей, що

описують їх, і, отже, вимагають великих обсягів апріорної інформації.

Аналіз стану досліджень та публікацій. Аналіз літературних джерел (наприклад, [1÷9,13] та ін.) вказує на недостатній обсяг проведених досліджень у контексті використання новітніх методів сучасної теорії керування для побудови систем оптимального керування технологічними комплексами у нафтогазовій промисловості. Враховуючи різні фактори, що визначають поведінку складних систем, такі як нестационарність, високий рівень апріорної і поточної невизначеності, нелінійність та ін., традиційні підходи досить часто виявляються неефективними.

Проблема керування динамічними об'єктами в умовах невизначеності, тобто проблема побудови адаптивних систем керування, є однією з центральних проблем сучасної теорії керування [13]. Широке застосування в автоматичних системах мікропроцесорів (МП) і персональних комп'ютерів (ПК) викликало особливий інтерес до дискретних адаптивних систем керування (ДАСК), які поділяють на самоналагоджувальні (СНС) і адаптивні системи з еталонною моделлю (АСЕМ).

У СНС здійснювалася ідентифікація об'єкта керування, а потім за оцінками його параметрів визначались параметри автоматичного керуючого пристрою (АКП).

В АСЕМ здійснювалося налаштування параметрів АКП так, щоб замкнена система керування була близькою за своїми властивостями до еталонної моделі. Проте, слід відзначити, що еталонна модель у тій чи іншій формі присутня у будь-якій адаптивній системі. Тому пізніше була створена інша класифікація адаптивних систем і почали розрізняти адаптивні системи з явною і неявною еталонною моделями, з явним і неявним само налаштуванням, явною мінімізацією критерію.

Проте більш обґрунтованою класифікацією ДАСК є класифікація, яка поділяє їх на прямі і непрямі.

Що стосується алгоритмів адаптації, то вони у більшості випадків вибиралися, виходячи із евристичних міркувань. Як правило, вони лінійні відносно нев'язок або помилок і є варіантами рекурентних алгоритмів методу стохастичної апроксимації або методу найменших квадратів.

Відзначимо, що в оптимальних ДАСК мають місце три види оптимальності:

- оптимальність структури основної системи керування;
- оптимальність моделей, що налаштовуються;
- оптимальність алгоритмів адаптації.

Як правило, вони розглядаються для керування лінійними об'єктами з одним входом і одним виходом і, головним чином, за відсутності запізнення [13].

Звичайний шлях побудови ДАСК динамічним об'єктом з невідомими параметрами передбачає:

- вибір структури системи керування, а отже, і вибір АКП з невідомими параметрами;
- вибір алгоритму оцінювання параметрів об'єкта в СНС або налаштування параметрів керуючого пристрою в АСЕМ;
- дослідження збіжності використаних алгоритмів.

Вибору структури системи керування, як правило, приділяється дуже велика увага й вона, як правило, обирається оптимальною з точки зору мінімуму квадратичного функціоналу нев'язки або помилки.

Зовсім інша ситуація спостерігається при виборі алгоритмів адаптації. У більшості випадків вони вибираються на основі різних евристичних міркувань і є лінійними відносно нев'язок алгоритмів з різними матрицями підсилення і є рекурентними варіантами методу стохастичної апроксимації. Матриця підсилення залежить від поточних спостережень і від часу. Тому надзвичайно важливим є чітке формулювання задачі синтезу адаптивної системи, яка б дозволяла однозначно створювати адаптивні алгоритми, що задовольняють заданим вимогам.

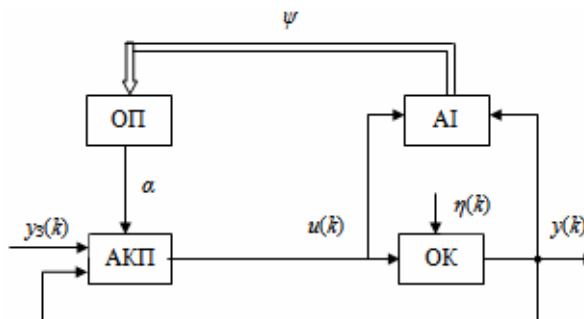
Необхідність в адаптивних системах виникає у тих випадках, коли повна інформація про об'єкт керування відсутня. Існує декілька можливостей побудови адаптивних систем керування. Одна з них побудована на використанні ідентифікації об'єкта, тобто на отриманні оцінок його параметрів за допомогою алгоритмів ідентифікації, які мінімізують функцію нев'язки

$$\varepsilon(k) = y(k) - \hat{y}(k), \quad (1)$$

де $y(k)$ – вихідна величина об'єкта керування; $\hat{y}(k)$ – апроксимація вихідної величини об'єкта керування.

Отримані оцінки ψ використовують для визначення найкращих, з точки зору вимог до системи у цілому, параметрів α автоматичного керуючого пристрою АКП.

Структурну схему такої адаптивної системи наведено на рис. 1. Вона містить у контурі адаптації ідентифікатор АІ і обчислювальний пристрій ОП.



$y(k)$ – вихідна величина об'єкта керування;
 $u(k)$ – керувальна дія; $y_3(k)$ – задаючий вплив;
 $\eta(k)$ – збурення

Рисунок 1 – Структурна схема адаптивної системи з ідентифікатором

Друга можливість побудови адаптивних систем основана на безпосередньому визначенні необхідних значень параметрів автоматичного керуючого пристрою АКП.

Це може бути здійснено або алгоритмами прогнозування (передбачення) еталонної бажаної величини, що мінімізує функціонал нев'язки

$$\varepsilon_0(k) = y(k) - \hat{y}_0(k), \quad (2)$$

де $\hat{y}(k)$ – апроксимація еталонної величини або алгоритмами оптимізації, які мінімізують функціонал помилки

$$e_0(k) = y(k) - y_0(k), \quad (3)$$

де $y_0(k)$ – еталонна або бажана вихідна величина об'єкта керування.

Структурні схеми таких адаптивних систем наведено на рис.2 і рис.3. Різниця між ними полягає у даних, які спостерігаються і використовуються; моделях, які налаштовуються і реалізують апроксимацію оцінок вихідних величин об'єкта керування $\hat{y}(k)$ і $\hat{y}_0(k)$; алгоритмах, які змінюють параметри моделей або автоматично керуючого пристрою.

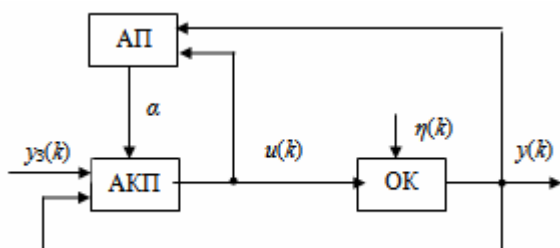


Рисунок 2 – Структурна схема адаптивної системи з алгоритмом прогнозування АП

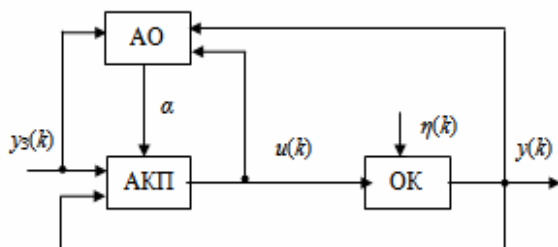


Рисунок 3 – Структурна схема адаптивної системи з алгоритмом оптимізації АО

Відомі методи синтезу адаптивних систем оптимального керування [1,2,3 та ін.] складними об'єктами, що діють у випадкових середовищах, призвели до створення різноманітних спроб поліпшити якість систем керування. Проте, усіх їх об'єднує одна спільна риса – параметри об'єкта керування вважаються або постійними, або такими, що змінюються у часі за яким-небудь прийнятним законом, а нелінійні характеристики лінеаризуються. Такі вимушені припущення пояснюються складністю проблеми керування, але при вирішенні практичних задач такий підхід може дати незадовільні результати.

Слід відзначити, що шляхи вирішення проблеми оптимального керування складними об'єктами були запропоновані ще в 1961 році О.А.Фельдбаумом у вигляді концепції дуального керування, як узагальнюючої ідеї адаптивного керування. Вона полягає у тому, що вхідна керувальна дія виконує не тільки функцію оптимального керування, але й водночас разом з вихідним показником процесу використовується для ідентифікації об'єкта керування. Отже, задача оптимального керування була узагальнена шляхом об'єднання у режимі реального часу трьох підзадач: ідентифікація структури та параметрів об'єкта керування, визначення керувальної дії, оптимізація функціонування керуючої системи за допомогою аналітичних регуляторів. З урахуванням досягнень у сучасній теорії керування структуру системи дуального керування складними об'єктами можна подати у такому вигляді (рис. 4).

Задача синтезу оптимального алгоритму управління в теорії дуального управління зводиться до наступного. Припустимо, що відома математична модель об'єкта керування, яка в дискретному часі має такий вигляд

$$y(k) = f(u(k), \eta(k)), \quad (4)$$

де $y(k)$ – керована величина;
 $f(\bullet)$ – оператор об'єкта керування;
 $u(k)$ – керувальна дія;

$k = t/\Delta t$, Δt – інтервал квантування часу t .

Збурюючий вплив $\eta(k)$, який не може бути вимірний керуючим пристроєм, вважатимемо невідомим постійним у часі параметром η із заданою апріорною густиною розподілу ймовірностей $\rho_0(\eta)$. В k -момент часу в моделі регулювання відоме бажане значення керованої величини $y(k)^*$. Додаткова інформація про величину збурення η міститься у векторі спостережень $(x_{(k-1)}, x_{(k-2)}, \dots, x_0) = x(k-1)$ величини y в попередні моменти часу і в вектору керувальних дій $(u_{(k-1)}, u_{(k-2)}, \dots, u_0) = u(k-1)$, які можуть зберігатися у пам'яті модуля регулювання і є спостережуваною передісторією керованого процесу. Для практичних задач важливим є випадок, коли $x_i = y_i + h_i$, $i = 0, 1, \dots, k-1$, де h_i – випадкова похибка вимірювання y_i з відомою густиною розподілу ймовірностей $\rho(h_i)$, а також випадок, коли збурення η , що є неконтрольованим, являє собою стаціонарний випадковий процес. Для оцінювання якості такої системи доцільно використовувати функціонал середніх очікуваних втрат $R(k)$ в одиницю часу

$$R^{(1)} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n R(k), \quad (5)$$

де n – час функціонування системи.

Чітка математична постановка задачі дуального управління здійснюється методами теорії керування випадковими процесами на основі неповних даних.

Виділення невирішених частин. Потужність сучасних комп'ютерів дозволяє перші дві під задачі дуального керування успішно вирі-



SP – задані значення; PV – фактичні значення; PV_k – контрольовані значення; EP = SP – PV_k – сигнал розузгодження; LMN – керувальні дії; DISV – збурення; GAIN – перешкоди; $W(p)$ – функція передачі об'єкта керування по збуренню; or – АБО

Рисунок 4 – Структура системи дуального керування

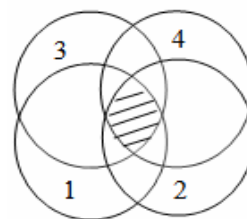
щувати на практичному рівні. Проте, остання підзадача не була достатньо коректно вирішена до цього часу навіть за допомогою відомого принципу максимуму.

Удосконалення самих об'єктів керування, підвищення вимог до автоматизованих систем керування, які працюють, як правило, у взаємодії з іншими об'єктами, призвели не тільки до постановки нових задач керування, але й до істотної зміни підходу до їх розв'язку. З'явилось розуміння того, що сучасні системи адаптивного керування повинні мати [3] ще такі важливі властивості, як робастність та синергічність, а також необхідність забезпечувати гарантований результат. Враховуючи технологічні особливості об'єктів нафтової і газової промисловості, виникає також необхідність у використанні під час синтезу автоматизованих систем керування когнітивних концепцій (уявлення, розуміння, пояснення, сприйняття, переконання), а також методів накопичення знань шляхом самонавчання і ментальних методів ухвалення рішень.

Формування цілі. Метою даної статті є формування новітнього підходу до побудови систем оптимального керування складними технологічними комплексами у нафтогазовій галузі промисловості з позицій можливості їх трансформації в синергетичні мехатронні системи для підвищення ефективності автоматизованого керування під впливом завад.

Результати. На сьогодні у промисловості різних країн спостерігається активне використання технологічного обладнання на основі ме-

хатронних систем, мехатронний підхід є традиційним у робототехніці, авіакосмічній галузі, приладобудуванні, точній комп'ютерній механіці та ін. Мехатроніка як синтез механіки, новітньої електроніки та ІТ-технологій [4,10,11], є новою галуззю науки і техніки, яка присвячена створенню та експлуатації машин, технологічних комплексів і систем з комп'ютерним керуванням, що ґрунтується на знаннях в області механіки, електроніки і мікропроцесорної техніки, інформатики і комп'ютерного інтелектуального керування машинами й агрегатами (рис. 5).



1 – електромеханічні компоненти об'єкта керування; 2 – новітня силова електроніка і мікропроцесорна техніка; 3 – ІТ-технології і забезпечення АСКТП; 4 – системи автоматизованого керування об'єктом

Рисунок 5 – Формування явища синергізму в синергетичній мехатронній системі

Як бачимо із рис. 5, мехатроніка заснована на синергетичному поєднанні електромеханічних компонентів об'єкта з новітньою силовою електронікою і мікропроцесорною технікою, які керуються за допомогою різних мікропроцесорних контролерів (МПК), персональних

комп'ютерів (ПК) або інших обчислювальних пристроїв, IT-технологій тощо.

На мехатронність об'єктів вказує наявність синергетично пов'язаних механічних силових (електротехнічних, гідравлічних та ін.), електронних (мікропроцесори, перетворювачі частоти) та інформаційних (давачі, програмне забезпечення) компонент.

Метою мехатроніки є досягнення найбільшої економічної та технічної ефективності і конкурентоспроможності створюваних пристроїв і систем. Відзначимо, що конструктивно і функціонально кожен мехатронний модуль є складовою мехатронної системи і самостійним виробом, призначеним для реалізації рухів із взаємопроникненням та синергетичною оперативно-програмною інтеграцією елементів, з яких він складається. Такі елементи можуть бути механічними, пневматичними, гідравлічними, електронними, електротехнічними, інформаційними та ін. Мехатронні модулі можуть об'єднувати в одному модулі-корпусі декілька елементів, наприклад, електродвигун, редуктор, долото, глибокі вимірні перетворювачі – електробури. Відзначимо, що будь-яка система, яка керує групою приводів на компресорних і насосних станціях, може вважатися мехатронною.

До основних особливостей технологічних комплексів як синергетично зв'язаних між собою мехатронних модулів відносяться [11] зростання енергоощадності, випадковий характер навантаження, що змінюється у широкому діапазоні; складний у реалізації режим роботи об'єкта бурових установок, установок підготовки нафти, насосних установок, газоперекачувальних агрегатів та ін., обмежена потужність систем електропостачання, розподіленість систем керування, що в умовах зростаючих обсягів інформації створює певні труднощі у забезпеченні потрібної швидкості передачі інформації і реалізації оптимальних алгоритмів керування при існуючих лініях зв'язку; необхідність моніторингу технічного стану машин і агрегатів з використанням інтелектуальних сенсорів, об'єднаних у локальні інформаційні мережі; необхідність застосування спеціальних прогнозуючих систем контролю оточуючого середовища; необхідність інтелектуалізації систем керування, важливість використання моделей для керування об'єктами у реальному часі.

Синергетичне об'єднання може бути реалізоване двома основними способами [12]:

- шляхом функціонально-структурної інтеграції, яка полягає у мінімізації структурних блоків, необхідних для реалізації функцій комплексу, узгодження роботи моделей, скорочення числа просторів;
- структурно-конструктивною інтеграцією, яка передбачає мінімізацію конструктивних рішень для реалізації необхідної структури системи.

Наступним кроком є розроблення моделей кожної із компонент і формування на їх основі математичної моделі мехатронного комплексу загалом. На цій моделі має враховуватися взає-

модія модулів з позиції їх синергетичного об'єднання.

Основну увагу приділено складним нелінійним динамічним системам, що функціонують в умовах апіорної і поточної параметричної невизначеності та можуть бути задані за допомогою такого відображення:

$$y(k) = A \begin{pmatrix} y(k-1), \dots, y(k-q), \\ x(k-1), \dots, x(k-q), a \end{pmatrix} + \eta(k), \quad (6)$$

де $y(k)$ – m -вимірний вектор виходу системи в дискретний момент часу $k=0, 1, 2, \dots, N$;

A – нелінійний невідомий оператор, який підлягає визначенню;

$x(k)$ – n -вимірний вектор вхідних сигналів;

q – максимальний порядок запізнювання;

a – вектор невідомих коефіцієнтів, які підлягають визначенню;

$\eta(k)$ – вектор збурень, що є випадковою завадою з нульовим математичним сподіванням та невідомою функцією щільності розподілу.

Відзначимо, що у теорії систем в залежності від кількості факторів та ступеня абстрактності існує ряд визначень складної системи, одне із яких базується на використанні таких категорій як M -об'єкт, L -властивість, r -відносини [9].

Отже, будь-який цілісний об'єкт, що володіє властивостями L , є системою S щодо відносин r , якщо його можна фізично або логічно представити як множину

$$M = \{M_1, M_2, \dots, M_k\} \quad (7)$$

з властивостями

$$L = \{L_{M_1}, L_{M_2}, \dots, L_{M_k}\} \quad (8)$$

і якщо за допомогою властивостей L об'єкти з множини M знаходяться у відносинах

$$r = \{r_{M_1, M_2}, r_{M_1, M_3}, \dots, r_{M_k, M_{k-1}}\}. \quad (9)$$

Тоді система S є множиною об'єктів M , що об'єднані у єдине ціле за допомогою властивостей L та відносин r :

$$S = \{\{M\}, \{L\}, \{r\}\}. \quad (10)$$

При цьому загальна властивість системи є деякою функцією від властивостей і відносин окремих її елементів і може набути зовсім нової якості, яка не впливає із суми властивостей цих елементів та їх відносин

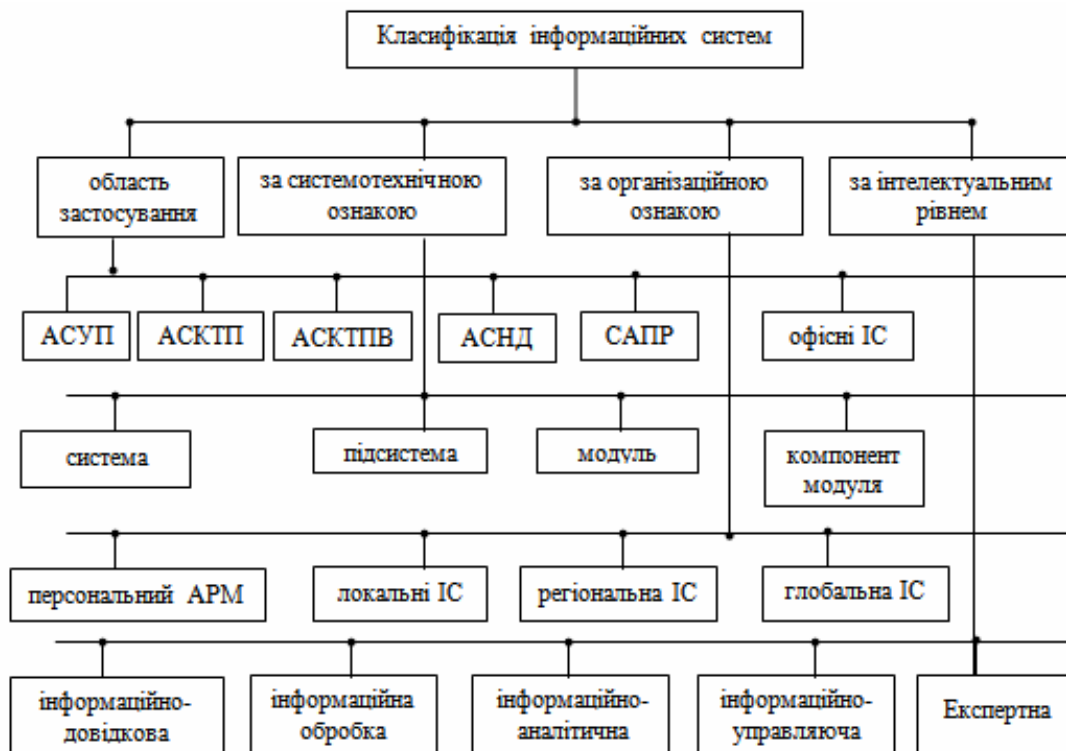
$$L = \varphi(L_M, r_M), \quad (11)$$

де φ – функція, яка характеризує явище синергізму у складній системі S .

Це явище проявляється у перевищенні загального ефекту системи над сумою ефектів окремих елементів, з яких вона складається, при дотриманні властивості цілісності.

Це так званий системний резонанс, аналогічний резонансу як явищу різкого зростання амплітуди коливань у коливальній системі, що настає при певній частоті зовнішнього впливу на цю систему.

Функціонування сучасних складних нелінійних систем неможливе без інформаційних систем (ІС). ІС це сукупність технічних, програмних, інформаційних і людських ресурсів, використовуваних для оброблення інформації і



АСУП – автоматизована система управління підприємством; АСКТП – автоматизована система керування технологічним процесом; АСКТПВ – автоматизована система керування технологічною підготовкою виробництва; АСНД – автоматизована система наукових досліджень; САПР – система автоматизованого проектування; АРМ – автоматизоване робоче місце конкретного фахівця

Рисунок 6 – Класифікація інформаційних систем

видачі результату користувачу. В ІС є технічні засоби введення, обробки і виведення інформації, програмні засоби обробки, а також інформаційні засоби накопичення, актуалізації і пошуку інформації. Всі ці процеси знаходяться під контролем користувача [9].

Відзначимо, що поняття і визначення інформаційних технологій регламентуються комплексом державних стандартів на автоматизовані системи, зокрема ГОСТ 34.003-90 «Автоматизированные системы управления. Термины и определения».

Інформаційна технологія (ІТ) – це сукупність методів і засобів створення та використання інформаційних ресурсів на основі обчислювальної та комунікаційної техніки і широкого застосування математичних методів.

Інформаційні ресурси (ІР) – відомості, знання, ідеї у формалізованому вигляді, що мають потенційну цінність для використання під час керування технологічними процесами і комплексами.

Нижче наведено класифікацію ІС за інтелектуальним рівнем, системотехнічною ознакою, областю застосування та організаційною формою [9] (рис. 6).

ІС являє собою єдину систему, побудовану на конкретному функціональному, математичному, алгоритмічному, інформаційному, лінгвістичному, програмному, технічному, ергономічному, організаційному, правовому і методичному забезпеченнях.

Основою створення, функціонування і розвитку ІС є певна сукупність принципів, основними з яких є [9]:

- принцип комплектності задач з автоматизації конкретного об'єкта керування;
- принцип розподіленості і єдності інформаційної бази даних і бази знань;
- принцип адаптації;
- принцип системної єдності ІС, що забезпечує цілісність системи і можливість її взаємодії з іншими ІС;
- принцип відкритості і розвитку;
- принцип нових задач, орієнтованих на прийняття оптимальних рішень;
- принцип модульності побудови ІС;
- принцип автоматизації основних процесів інтелектуальної підтримки прийняття рішень;
- принцип сумісності покупних засобів, що інтегруються в систему;
- принцип єдності і взаємозв'язку усіх видів забезпечень;
- принцип стандартизації й уніфікації проектних рішень за усіма видами забезпечень;
- принцип інваріантності використовуваних інформаційних, програмних, технічних і організаційних засобів;
- принцип ефективності;
- принцип першого керівника, що контролює процес розроблення, впровадження й експлуатації ІС.

Цілісність ІС, яка побудована на таких принципах базується на інтеграційних процесах

при її функціонуванні, а саме: на концептуальній інтеграції, функціональній, інформаційній, програмній, лінгвістичній, організаційній, методичній інтеграції, а також на організації технічного обслуговування і ремонту устаткування.

Сьогодні все більшого значення набувають такі розробки в області інформатики, як штучні нейронні мережі (ШНМ), нечітка логіка (Fuzzy Logic), генетичні алгоритми і ряд інших інформаційних технологій (ІТ).

Задачі, які розв'язуються інформаційними системами, у більшості випадків можна звести до ряду типових, серед яких можна виділити [8]: апроксимацію функцій, кластеризацію, класифікацію образів, прогнозування, оптимізацію, асоціативну пам'ять, керування.

Задача керування є найбільш складною і у більшості випадків для її вирішення розв'язується ряд інших із числа перерахованих вище задач.

Відзначимо, що основними факторами будь-якої системи керування є мета керування, інформація про стан об'єкта керування і середовища, керувальні дії, алгоритм керування. Складності процесу побудови системи керування визначаються складністю об'єкта керування, а саме, відсутністю математичного опису, недетермінованістю, нестационарністю, відсутністю апріорної і поточної інформації про зовнішні збурення.

Проте, у будь-якому випадку етапи керування складним об'єктом наступні: формулювання мети керування, визначення об'єкта керування, створення математичної моделі об'єкта керування і визначення її параметрів (ідентифікація), синтез керування, тобто прийняття рішень про те, якою має бути керувальна дія для досягнення заданої мети керування об'єктом; реалізація алгоритму керування, координування керувальних дій у процесі їх реалізації.

Реалізація цих завдань приводить до створення адаптивних і робастних систем керування з компенсацією збурень, які пристосовуються до властивостей зовнішнього середовища, яке постійно змінюється, а також до змін параметрів і структури об'єкта керування.

Адаптивні системи в порівнянні із звичайними системами керування мають додатковий контур самоналаштування. Недоліками адаптивних систем, розроблених згідно з традиційними принципами керування є те, що вони не завжди дозволяють реалізувати робастне керування складними нестационарними об'єктами, більшість алгоритмів адаптації отримані за умови відсутності неконтрольованих збурень і можливості визначити усі параметри об'єкта у процесі ідентифікації. Окрім цього практично усі алгоритми адаптації, які є досить складними в реалізації, працюють лише тоді, коли виконується гіпотеза квазістационарності об'єкта керування протягом часу налаштування регулятора і відсутні збурення, що зникають.

У традиційних системах не застосовуються сучасні інформаційні технології такі як ШНМ,

нечітка логіка, генетичні алгоритми, експертні системи, системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень та ін. Застосування ІТ-технологій може суттєво покращити якість управління складними об'єктами галузі.

Інтелектуальні системи керування (ІСК) – це системи, здатні до «розуміння» і навчання стосовно до об'єкта керування, збурень, зовнішнього середовища та умов функціонування. Вони мають механізм отримання, зберігання і системної обробки знань для реалізації своїх функцій. В основі створення ІСК покладені два принципи – керування на основі аналізу зовнішніх збурень, ситуацій, подій (ситуаційне керування) та на основі використання сучасних ІТ-технологій оброблення знань.

Сучасні ІТ-технології, що дозволяють створювати ІСК – це експертні системи, ШНМ, нечітка логіка, генетичні алгоритми та ін. Вони повинні об'єднатися з існуючими досягненнями сучасної теорії керування. В основу концепції інтелектуальності ІТ-технологій покладено або спроможність працювати з формалізованими знаннями людини (нечітка логіка, експертні системи), або прийоми навчання і мислення, що властиві людині (ШНМ, генетичні алгоритми).

Стосовно автоматизації технологічних комплексів нафтогазової галузі промисловості інтелектуальне керування повинно мати такі властивості як здатність до навчання і адаптації; стійкість до пошкоджень і неполадок (живучість), бути дружнім до користувача людиномашинним інтерфейсом, здатність до під'єднання нових компонентів.

Структурно ІСК містять додаткові блоки, що виконують системну обробку знань на основі згаданих вище інформаційних технологій. Такі блоки можуть бути побудовані над типовим регулятором, налаштовуючи потрібним чином його параметри, або безпосередньо вмикаються у замкнений контур керування.

Синергетичні мехатронні системи – це новітній метод побудови електромеханічних систем нового покоління з принципово новими якостями. Синергетичний ефект SE формується в управлінні технологічними об'єктами синергетичної мехатронної системи як множина ефектів, отриманих у результаті їх накладання і синхронізації у просторі і часі, який існує тільки тоді, коли він належить системно-синергетичному об'єднанню цих ефектів:

$$SE = Ef_{EMK} \cap Ef_{HE} \cap Ef_{IT} \cap Ef_{CAK}, \quad (12)$$

де Ef_{EMK} – ефект від використання електромеханічних компонентів об'єкта керування;

Ef_{HE} – ефект від застосування новітньої силової електроніки і мікропроцесорної техніки;

Ef_{IT} – ефект від ІТ-технологій й усіх видів забезпечення автоматизованих систем керування;

Ef_{CAK} – ефект від автоматизованого керування об'єктом на основі таких інтелектуальних технологій, як штучні нейронні мережі, нечітка логіка, еволюційні методи.

Виробнича синергія сприяє максимально-му використанню виробничих потужностей.

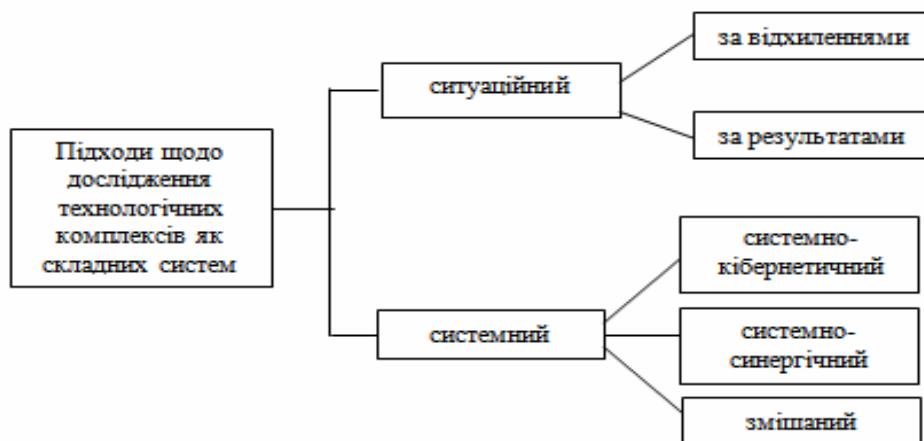


Рисунок 7 – Підходи щодо дослідження технологічних комплексів нафтогазової промисловості як складних систем

Синергічний ефект *SE* визначається як сума усіх зисків, отримання яких було б неможливе за умов автономного функціонування складових мехатронної системи включаючи технологічні, інформаційні, економічні та інші складові таких зисків. Джерелами синергічного ефекту є економія витрат у виробництві, результативність керування, яка базується на більш ефективному використанні фондів підприємства після створення такої системи.

Окрім цього, підґрунтям для віднесення технологічних комплексів до складних систем є:

- полікритеріальність і багатопараметричність процесів у підсистемах технологічних комплексів, які не дозволяють встановлювати очевидні кореляційні залежності між клерувальними діями, параметрами і ефективністю функціонування і розвитку цієї системи;
- ієрархічний характер системи управління з постійним перерозподілом ієрархічних і функціональних зв'язків, що обумовлені нелінійними властивостями об'єктів і зовнішнього середовища.

Як методологічний підхід до дослідження процесів у таких системах доцільним є використання системно-синергічного або змішаного підходу (рис. 7).

Системно-синергічний підхід відрізняється від системно-кібернетичного тим, що:

- враховує механізм не тільки від'ємного зворотного зв'язку, але й додатний зворотний зв'язок, автокореляцію та ін.;
- визнає нелінійну роль внутрішнього і зовнішнього середовищ у визначенні поведінки системи (інвайронментальності) як в статичі, так і в динаміці; враховує параметри зовнішнього і внутрішнього середовищ;
- містить підсистеми знань щодо теорії, методів управління, прогнозування, координації та ін.;
- має обмежену область застосування детермінованих математичних моделей; потребує розробки системних логіко-структурних моделей, які мають задачу структурувати проблеми, фактори, причини, наслідки і встановлювати

зв'язки між ними; такі моделі більш універсальні для опису складних нелінійних систем або процесів, оскільки встановлюють гетерархію у складних системах і взаємодію по вертикалі і горизонталі. Їх якісний характер знижує значущість фактору невизначеності;

- враховує не тільки ексцес (гостроту) розподілу статистичних величин у динамічних процесах, але й їх асиметрію, тобто розподіл випадкових величин може бути представлений розподілами Шарльє, Пуассона, Лоренца, Парето, Якобі та інші, які мають не тільки ексцес, але й асиметрію, яка характеризує напрямок розвитку, а також рівняннями в часткових похідних другого степеня, гамільтоніонами, аттрактами, бруселяторами, фракталами, мультифракталами та ін. для розподілів з довгою пам'яттю;

- розглядає внутрішньосистемні флуктуації, не як фактор, що піддається саморегулюванню у стаціонарному режимі, а як джерело розвитку і як причина фазових, структурних і якісних змін, а рівновагу розглядає як відсутність розвитку;

- розглядає розвиток як нелінійну гетерогенну синергічну суперпозицію різних форм руху у підсистемах, як результат співвідношення додатного і від'ємного зворотних зв'язків; як самоорганізаційний процес, рухомими силами якого є флуктуації, побудова зв'язків усіх видів, конкретні удосконалення у системі додатного зворотного зв'язку, автоколивання, як процес, що відбувається з фазовими, структурними і синергічними трансформаціями.

Схему моделювання складних соціотехнічних систем з різними рівнями невизначеності та неоднорідності наведено на рис. 8.

Системно-синергічний підхід до моделювання складних нелінійних систем, що розвиваються в часі, до яких можна віднести технологічні комплекси нафтогазової промисловості, має деякі особливості:

- обмежена область застосування детермінованих аналітичних моделей. Це обумовлено тим, що складні технологічні комплекси мають таку велику кількість факторів, які визначають

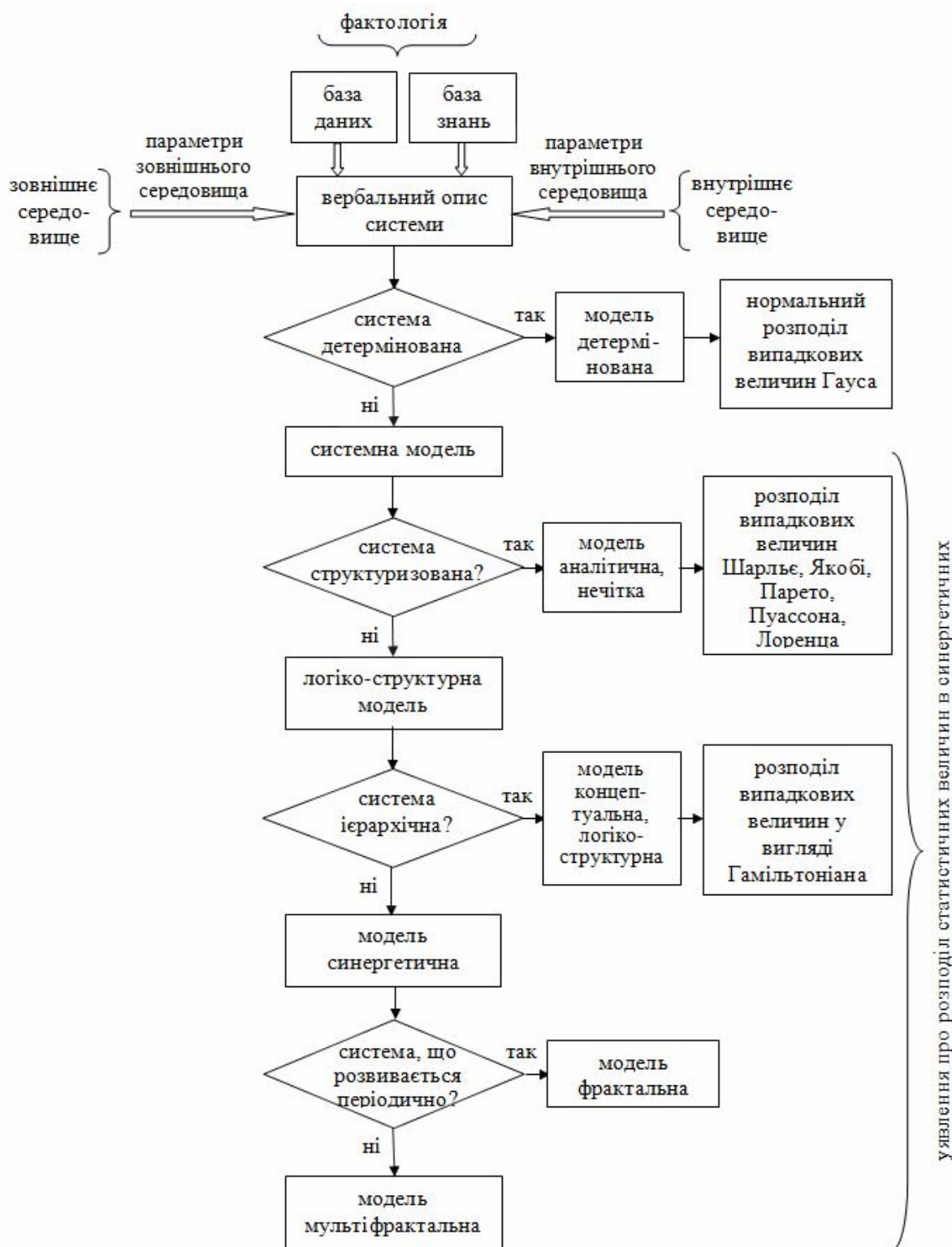
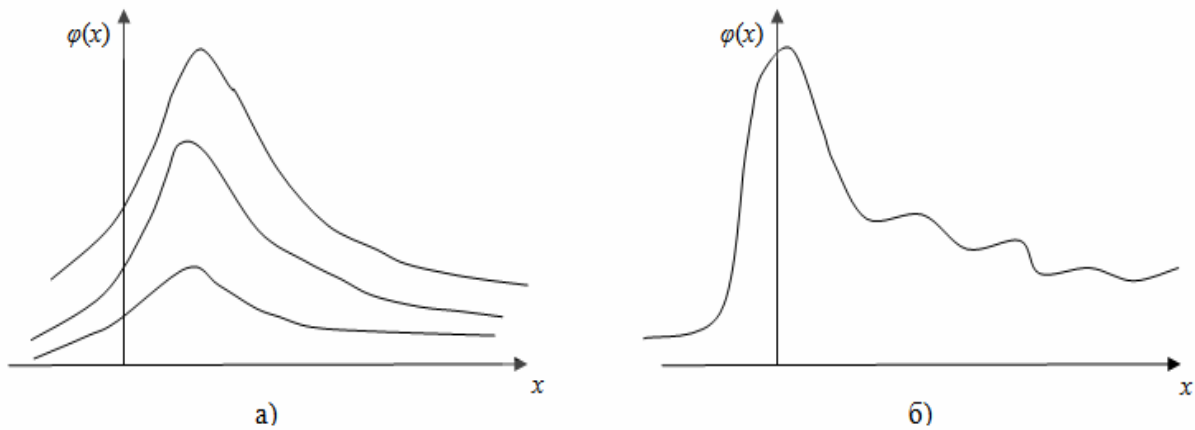


Рисунок 8 – Схема моделювання складних соціотехнічних систем з різними рівнями невизначеності та неоднорідності

ефективність функціонування системи і взаємозв'язків між ними, яка робить щільність кореляції між ними не очевидною і такою, що неперервно змінюється. Тому, як правило, потрібні системні логіко-структурні моделі та моделі, побудовані на засадах методів нечіткої логіки і теорії нечітких множин (Мамдані, Такагі-Сугено-Канга), які дають змогу структурувати

проблеми, причини, наслідки і встановити зв'язки між ними; системні логіко-структурні моделі більш універсальні для опису складних нелінійних систем і процесів, більш універсальні для опису складних нелінійних систем і процесів, їх якісний характер знижує значущість фактору невизначеності;



а) – розподіл з асиметрією і ексцесом

б) – розподіл з ексцесом, асиметрією і «хвостом»

Рисунок 9 – Уявлення про розподіл статистичних величин в синергічних процесах

• класичні детерміновані моделі створюють на основі того, що розподіл випадкових величин підпорядковуються в часі нормальному закону розподілу статистичних величин – закону Гауса. Проте, саме розподіл Гауса і моделі типу «гаусіани» не дають уявлення про динаміку розвитку системи в силу їх симетричності, оскільки стохастичні системи, що розвиваються у просторі і часі мають у розподілі не тільки ексцес, але й асиметрію розподілу. Сама асиметрія розподілу характеризує напрямок розвитку. Тому нестационарні системи, що розвиваються, потребують опису паретианами (у випадку розподілу за Парето), якобіанами (у випадку розподілу за Якобі), розподілами Лоренца, Пуассона-Шарльє, Лапласа-Шарльє та ін., які мають не тільки ексцес, але й асиметрію розподілу, яка характеризує напрямок розвитку (рис. 9).

Можливе застосування опису нелінійного розвитку і рівняннями в часткових похідних, які дозволяють описувати не тільки напрямок розвитку, але й темп цього розвитку залежно від домінуючих факторів:

• концептуальні логіко-структурні моделі складних процесів і явищ дозволяють переводити якісні залежності в кількісні залежності при конкретно заданій орієнтації у просторі і часі, чітко заданих обмеженнях і початкових умовах для конкретної системи;

• системи з фазовими, структурними і якісними перетвореннями у процесі розвитку можуть описуватися гамільтоніанами, фрак талами з різним рівнем невизначеності, а також дивними атрactorами і брюсселяторами. Це обумовлено властивістю «дотривалої пам'яті», яка проявляється в статистичних розподілах, якою можна нехтувати лише до певного рівня припущень і спрощень.

Отже, нелінійний характер процесів у складних системах вимагає нових інструментів аналізу і прогнозування їх розвитку. Як апарат дослідження, аналізу, оцінки, прогнозування нелінійних процесів можуть бути використані моделі теорії розпізнавання образів фрактального аналізу, біфуркацій, кластерів, катастроф,

синергетики, робастного програмування, експертних оцінок, сценаріїв, метод ризиків І.Асоффа, каскадний метод, прогнозування П.Друнда, метод вейвлет та ін.

Синергетика (synergos – спільна дія), яку як науку у 1969 р. заснував професор Штутгартського університету Г.Хакен, вивчає закони еволюції і самоорганізації великих нелінійних систем. Її провідною ідеєю є приведення складної системи до простих компонентів та виявлення взаємодії між ними замість того, щоб описувати складну систему, як звичайну суму простих і незалежних об'єктів [7].

Сьогодні синергетика є одним з найпопулярніших та перспективних пізнавальних підходів, який дає змогу об'ємно та багатовимірно досліджувати певні явища чи процеси й отримувати оригінальні наукові результати. Синергічний підхід ефективний також при аналізі складних технологічних комплексів, зокрема у нафтовій і газовій промисловості.

Зазначимо, що практично усі об'єкти у нафтовій і газовій промисловості можна розглядати як складні системи, що складаються із численних структур, підсистем, елементів і, які, як правило, є нелінійними [6,8]. У таких системах можливі докорінні зміни структурних зв'язків, а для досягнення позитивних синергічних ефектів необхідна гармонійна система цілей, стратегія розвитку, прагнення забезпечити використання нових технологій. При цьому саме синергетика робить акцент на необхідність взаємодії різноманітних чинників системи при їх зміні в часі.

Отже, фактично синергічний ефект від реалізації мехатроніки визначається поєднанням заходів, що забезпечують досягнення найбільшого результату, коли інші умови є незмінними.

Тому, перш за все, необхідно оцінити термін, протягом якого змінюється зовнішнє і внутрішнє середовища об'єкта. Це припущення передбачає формування переліку ключових показників зовнішнього та внутрішнього середовищ. Відхилення значень цих показників формує необхідність внесення корективів і координації у стратегію керування об'єктом.

Ефективність реалізації стратегії керування може бути оцінена на основі співвідношення отриманих результатів і понесених витрат. При цьому слід враховувати, що оптимізація режимів роботи технологічного комплексу може бути досягнута з використанням таких критеріїв, як мінімум собівартості, максимум продуктивності, мінімум витрат енергоресурсів, максимум прибутку. Тому система повинна передбачати своєчасний збір і обробку інформації.

Висновок

Проведені дослідження характеризуються розв'язанням актуальної науково-практичної задачі створення новітнього підходу до побудови систем оптимального керування технологічними комплексами в нафтогазовій галузі промисловості на основі мехатронних систем, призначених для розроблення електромеханічних систем нового покоління з принципово новими якостями, які дозволяють формувати синергійний ефект в управлінні технологічними об'єктами. Обґрунтовано можливість отримання синергійного ефекту від системно-синергійного об'єднання ефектів від використання сучасних електромеханічних компонентів об'єкта керування, застосування новітньої силової електроніки та мікропроцесорної техніки, ІТ-технологій й усіх видів забезпечення АСКТП, а також від автоматизованого керування об'єктами на основі інтелектуальних технологій у задачах моделювання й оптимізації.

Література

- 1 Назаренко М.В. Теоретичні засади та принципи побудови моделей динамічних процесів та їх регуляторів: [монографія] / М.В.Назаренко. – Кривий Ріг: Діоніс (ФОП Чернявський Д.О), 2010. – 204 с.
- 2 Семенцов Г.Н. Концепція адаптивного керування процесом буріння глибоких свердловин на нафту і газ / Г.Н.Семенцов, М.І.Горбійчук // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 1997. – № 34 (том 6). – С.3-12.
- 3 Никифоров В.О. Адаптивное и робастное управление с компенсацией возмущений / В.О.Никифоров. – СПб.: Наука, 2003. – 282 с.
- 4 Беляев Ю.Б. Возможности мехатроники / Ю.Б.Беляев, В.А.Демченко // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технологічними комплексами: прогр. і матеріали міжнар. наук-техн.конф., 26-27 листопада 2009 р. – К.:НУХТ, 2009. – С. 14-15.
- 5 Хакен Г. Синергетика / Г.Хакен. – М.: Мир, 1980. – 452 с.
- 6 Соколов В.А. Синергетическое моделирование разработки нефтяных месторождений нелинейными отображениями / В.А.Соколов // Нефтегазовое дело. – 2009. – том 7. – №1. – 155-166.

7 Фадеева И.Г. Системно-синергичні засади управління розвитком нафтогазових підприємств корпоративної структури: [монографія] / І.Г.Фадеева. – Івано-Франківськ, 2012. – 459 с.

8 Усков А.А. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика / А.А.Усков, А.А.Кузьмин. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 143 с.

9 Маслов В.П. Інформаційні системи і технології в економіці: [навчальний посібник] / В.П.Маслов. – Київ: Слово, 2006. – 264 с.

10 Егоров О.Д. Конструирование мехатронных моделей: [учебник. Издание второе, исправленное и дополненное] / О.Д.Егоров, Ю.В.Подурьев. – М.: Станхим, 2005. – 368 с.

11 Стадник Н.И. Мехатронный подход при анализе движущихся горных комплексов / Н.И.Стадник // Нафтогазова енергетика. – № 1(19). – 2013. – С. 91-98.

12 Горбатов П.А. Концептуальная характеристика сложных машин как мехатронных систем / П.А.Горбатов, В.В.Косарев, Н.И.Стадник // Научные труды ДонНГУ. – 2005. – Вып. 104. – С.53-61.

13 Цыпкин Я.З. Оптимальность в адаптивных системах управления / Я.З.Цыпкин // Измерения, контроль, автоматизация. – 1985. – №3(55). – С.36-52.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
11.10.13*

*Рекомендована до друку
професором Горбійчуком М.І.
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором Петришиним Л.Б.
(Прикарпатський національний університет,
ім. В. Стефаніка, м. Івано-Франківськ)*