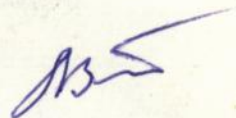


ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису



ЛИСОГОР ВАСИЛЬ МИКИТОВИЧ

МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОСТАДІЙНИХ ДИНАМІЧНИХ
ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З НЕПОВНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ
ПРО СТАН І НЕЧІТКИМИ ГРАНИЦЯМИ СТАДІЙ

Спеціальність 05.13.02 - математичне моделювання
в наукових дослідженнях

Автореферат дисертації на здобуття наукової
ступені доктора технічних наук

Вінниця 1995



00778216 (V)

Дисертація в рукописі

Дисертація виконана на кафедрі автоматизованої інформаційно-вимірювальної техніки у Вінницькому Державному Технічному Університеті

Офіційні опоненти:

д.т.н., професор Кадук Борис Григорович

д.т.н., Данілов Валерій Якович

д.т.н., Михальов Олександр Ілліч

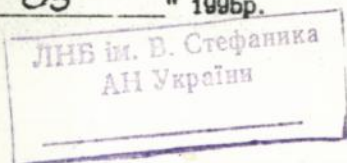
Провідна організація

Інститут Кібернетики НАН України, м.Київ

Захист відбудеться "30" "06" 1995р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.10.01.03 у Вінницькому Державному Технічному Університеті за адресою: 286021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького Державного Технічного Університету за адресою: 286021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95

Автореферат розісланий "29" "05" 1995р.



Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

Колодний В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ. В рівноманітних галузях промислового виробництва актуальність проблеми моделювання і створення висококоefficientних систем управління якістю продукції реальних технологічних процесів, де важливе місце займає проблема управління і автоматизації багатостадійних динамічних технологічних процесів (БДТП). Останні складають загальний клас технічних систем, що є об'єктами моделювання, управління і автоматизації. До БДТП відноситься більшість процесів в хімічній, нафтохімічній, електронній промисловості. До багатостадійних відносяться також пускові стадії і багаторежимні стани технологічних безперервних процесів (ТБП). Для БДТП, як об'єктів моделювання, управління і автоматизації характерна багатомірність, нелінійність, нестационарність, поетапна нечітка вираженість умов розриву стадій, їх випадкова продовженість. Неповнота вектора стану накладає відповідну обмеженість на якість одержаної інформації для формування алгоритмів управління як в межах стадій, так і в стиках стадій. Хоча загальна математична теорія розв'язування диференціальних рівнянь розроблено досить добре, їх використання для управління і автоматизації БДТП ускладнене, досить часто, не розв'язується через недостатність ланцюга досліджень, які включають реальні процеси, моделі стадій, моделі розриву стадій, найбільш відповідні специфіці БДТП. Тому особливу актуальність набуває математичне моделювання як самого об'єкта, так і розробки систем управління БДТП, які складаються в етапів аналізу і синтезу системи. Для математичного моделювання БДТП властивим є формальне зображення цієї системи, яке складається в трьох кроків: структуризація об'єкта, формалізація елементів БДТП в просторі і часі, формалі-

зація просторово-часової взаємодії між цими елементами. Питання структуризації, формалізації і взаємодії елементів технологічних систем вивчені В.П.Мішалкіним, В.В.Кафаровим, М.В.Згуровським. Але в цьому напрямку залишилось невивченим питання спряження елементів для ВДТП в неповною інформацією про вектор стану, нечітко виражених умовах розриву випадкової продовженності стадій. Або взаємодія системи на стиках стадій утворюють нові структурні одиниці в динамічних перепорядкуваннями одних елементів другими, які вимагають спеціального дослідження, як в модельних, так і в реальних виробничих умовах. Тому пошук шляхів аналітичного, експериментального моделювання ВДТП, стандартизації опису елементів складної системи і їх взаємодій, де з одного боку задаються достатньо загальні і порівняно прості моделі стадій ВДТП, які дозволяють на одній мові показати детерміноване і стохастичне описання, а в другого боку - стає можливим виробляти спряження стадій в нечітко вираженими умовами їх розриву і випадковою їх тривалістю, має принципове значення в створенні ефективних формалізованих методів аналізу і синтезу систем управління і автоматизації ВДТП. Таке положення робить актуальною формалізацію і структуризацію ВДТП, яка здійснюється в даній роботі на основі експериментально-аналітичних підходів. Вибір напрямку такої формалізації і структуризації в роботі визначається тим, що проблема управління і автоматизації ряду реальних ВДТП в сьогодні не вирішені.

МЕТА РОБОТИ. Головна мета роботи - це розробка адекватних математичних моделей ВДТП, здійснення синтезу системи управління і системи автоматизації, що забезпечує одержання цільової продукції заданої якості. Відповідно до визначеної мети, в роботі поставлено і вирішено такі задачі:

1. Формалізація і структуризація моделі функціонування мо-

делі БДП в виділенні вектора траекторного руху і вектора знаходження розриву стадій.

2. Розробка і дослідження динамічної моделі траекторного руху як моделі зі змінними параметрами і неповною інформацією про стани.

3. Розробка моделі нечітко виражених умов розриву і випадкової тривалості стадій.

4. Математичне моделювання стратегій, оптимізуючих як управління, так і тривалість БДП із урахуванням проміжних фазових обмежень в точки розриву стадій.

5. Синтез ієрархічної системи з оптимізацією на верхньому рівні управляючої функції, оптимальної тривалості стадій; на нижньому рівні стабілізації координатних і параметричних збурень на основі принципу максимуму і проектування бінарного контура за С.В.Ємельяновим.

6. Реалізація систем управління БДП в реальних виробничих умовах.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ. При розробці моделей траекторного руху, моделей віднайдення нечіткого зображення умов розриву стадій, синтезу систем управління і систем автоматизації БДП використані концепції і методи теорії динамічних систем в розривно-правій частині, теорії знаходження сигналів, теорії оптимального оцінювання з неповною інформацією про стан, теорії управління складних систем, методів управління бінарних систем.

НАУКОВА НОВИЗНА І ВНЕСОК ДОСЛІДЖЕННЯ В РОЗРОВКУ ПРОБЛЕМИ. В результаті проведеного в дисертації комплексу досліджень сформульована і вирішена народногосподарська проблема управління в якості цільової продукції погано структуризованих багатостадійних технологічних процесів (БДП), які являють собою сукупність послідовно зв'язаних в часі підпроцесів випадкової тривалості, в

нечітко вираженими умовами розриву стадій і кожного в підпроцесів описується різноманітними диференційними рівняннями в часних похідних дифузного типу. В межах сформульованої проблеми отримали такі результати:

1. В роботі вперше запропонований підхід до формалізації елементів складного БДТП в неповною інформацією про стан їх взаємозв'язку, заснованих на структурній і часовій декомпозиції, завдяки якій стало можливим формалізувати область функціонування в часовій області як в межах стадій, так і в стиках нечітко виражених умов розриву стадій.

2 Вперше для об'єктів даного класу був запропонований принцип і розроблена методика декомпозиції вихідного вектору стану на підвектор поновлення стану траекторного руху по стадіях і підвектор виявлення нечітко виражених умов розриву стадій. За інформацією підвектора траекторного руху здійснюється моделювання БДТП в межах стадій, а підвектор визначення нечітко виражених умов розриву стадій зпругає моделі стадій.

3. Розроблений оригінальний метод моделювання БДТП відносно координат траекторного руху по стадіях, який являється стохастичним варіантом методу Н.П.Симою і був названий автором методом змінної відтворюваності динамічних параметрів.

4. На основі аналізу фізико-хімічних закономірностей розроблені моделі програмного руху по стадіях БДТП, моделі виявлення меж стадій, моделі технологічного циклу БДТП в використанні регресійних методів, рекурентних методів найменших квадратів, байесовських методів виявлення сигналів; новітність є в сумісному вирішенні задач побудови моделей програмного руху по стадіях в моделями виявлення меж, забезпечуючих крайові умови "склеювання" ділянок траекторного руху в умовах нечітко вираже-

них розривів меж і випадкової тривалості стадій.

5. Вперше для енерго-технологічних об'єктів переробки твердого палива розроблені математичні моделі дворівневої системи управління, де в верхньому рівні вирішується задача оптимізації управляючої функції і оптимізації стадії ЕЛП. На нижньому рівні функціонує модель координатної і параметричної стабілізації збурень об'єкта на основі принципу максимуму Понтрягіна і проектування бінарного контуру за С.В.Емельяновим.

6. Додатково, відмінною особливістю математичних моделей верхнього рівня є те, що в них використовується два види зібраної від реального об'єкта інформації безпосереднього вимірювання фазових змінних, непряме вимірювання фазових змінних, по яких проводиться довизначення поведінки еталонів об'єкта на стижах стадій.

7. Розроблена система управління виробничістю сумісно функціонуючих едентичних об'єктів шляхом координації пуску і послідовного включення в роботу систем нижнього рівня після вигрузки цільової продукції і підготовки об'єктів до завантаження інгредієнтів; новизна досягається за рахунок сумісного використання сигналів віднаходження заданої відповідності початкових умов для включення вибраного об'єкта в роботу і видача сигналів дозволу введення в залам'ятовуючий пристрій моделі траекторного руху першої стадії; сумісного використання сигналів початку і кінця небезпечної стадії (наприклад, стадії кипіння у різних об'єктах, підключених до однієї конденсаційної системи) для формування еталонних значень траекторного руху систем нижнього рівня і видачі дозволу або заборони на пуск чергового об'єкта; при цьому, координація проводиться від сигналів теперішнього стану реальних об'єктів у виробничих умовах.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ І ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ. Для використання на практиці теоретичних результатів, висновків і рекомендацій, одержаних в дисертаційній роботі, і широкого впровадження в сланцепереробній промисловості за участю і науковому керівництві автора, було розроблене відповідне алгоритмічне і проектне забезпечення, доведене до впровадження на ПО "СЛАНЦЕХІМ" м. Кохтла-Ярве і СКТВ "МОДУЛЬ" Вінницького технічного університету.

Основов розробки алгоритмів керування, технічних і техноробочих проектів, отриманих на основі теоретичних результатів, являються:

1. Техноробочий проект автоматизованої системи централізованого контролю керування установкою коксування сланцевих смол (електродного коксу) ПО "СЛАНЦЕХІМ" м. Кохтла-Ярве.

2. Техноробочий проект головного 1000-го газогенератора, розділ " Контрольно-вимірювальні прилади і автоматизація " ПО "СЛАНЦЕХІМ" м. Кохтла-Ярве.

3. Техноробочий проект АСУ ТП газогенераторної станції N 5 ПО "СЛАНЦЕХІМ" м. Кохтла-Ярве.

4. Техноробочий проект АСНІ-АСУ ТП виробництва напівпровідникових матеріалів СКТВ "МОДУЛЬ" ВДТУ м.Вінниця.

Б.Пакет алгоритмічних модулів. Проектування систем управління технологічними періодичними процесами. Зареєстрований в ПКВ АСУ м.Київ, інв N6083-СОЖАП від 16.07.85.

АПРОВАЦІЯ РОБОТИ. Наукові і практичні результати роботи доповідались і обговорювались на Всесоюзній нараді в комплексного використання горючих сланців (м.Кохтла-Ярве ЕРСР,1967 р.), Всесоюзній нараді "Системи управління і засоби автоматизації технологічних процесів в нафтопереробній і нафтохімічній промисловості"

(м. Москва, ВДНХ, 1972 р.), Науково-технічній нараді МІННЕФТЕХІМІ-РОМУ по секції автоматизації і контрольно-вимірювальні пристрої (м. Кохтла-Ярве Естонія, 1972 р.), Республіканській науково-технічній конференції "Фізичні основи побудови первинних вимірювальних перетворювачів" (м. Вінниця, 1977 р.), Третій республіканській науково-технічній конференції "Структурні методи підвищення точності, швидкості і чутливості пристроїв" (м. Литомир, 1978 р.), Всесоюзній науково-технічній конференції "Інформаційні методи підвищення ефективності і якості систем зв'язку і радіоелектроніки" (м. Єреван, 1981 р.), Всесоюзному науково-технічному семінарі "Функціональні пристрої оптоелектроніки" (м. Вінниця, 1983 р.), Всесоюзному семінарі "Оптимізація складних систем" (м. Вінниця, 1983 р.), Дев'ятій всесоюзній нараді "Проблеми управління 83" (м. Єреван, 1983 р.), Всесоюзній конференції "Робототехніка і автоматизація виробничих процесів" (м. Барнаул, 1984 р.), 1-й Всесоюзній конференції в методів кібернетики хіміко-технологічних процесів КХТП-1 (м. Москва, 1984 р.), 16-му Міжнародному семінарі ІФАК/ІСАГА "Ділові ігри та імітаційне моделювання" (м. Алма-Ата, 1985 р.), Четвертій Всесоюзній конференції в моделювання складних хіміко-технологічних систем СЗТС-IV (м. Одеса, 1985 р.), Сьомій Всесоюзній науково-технічній конференції "Вимірювальні інформаційні системи ВІС-85" (м. Вінниця, 1985 р.), П'ятому Всесоюзному симпозіумі в проблем управління на мережах і вузлах зв'язку (м. Вінниця, 1985 р.), Республіканській науково-технічній конференції "САПР і АСУ ТП в хімічній промисловості" (м. Черкаси, 1986 р.), Всесоюзній науковій конференції "Автоматизація і роботизація в хімічній промисловості" (м. Тамбов, 1986 р.), Всесоюзній конференції "Вдосконалення управління науковими дослідженнями у вищій школі" (м. Ленінград, 1986 р.),

Всесоюзному науково-технічному семінарі "Досвід використання розподілених систем керування технологічними процесами і виробництвом" (м.Новокуанецьк, 1986 р.), Третій Всесоюзній конференції "Перспективи і досвід впровадження стохастичних методів в АСУ ТП" (м.Тула, 1987 р.), Науково-технічному семінарі "САПР і АСУ ТП в хімічній промисловості" (м.Черкаси, 1987 р.), Всесоюзній науково-технічній конференції "Технологія і конструювання ГВС та питання їх виробництва" (м.Углич Ярославської обл., квітень 1988 р.), Науково-технічній конференції країн Співдружності незалежних Держав "Контроль і управління в технічних системах" (м.Вінниця, вересень 1992 р.).

СТРУКТУРА І ФОРМА ВИКЛАДУ РОБОТИ. Робота містить 281 сторінку основного тексту, в тому числі 47 малюнків, 3 таблиці і складається із вступу, п'яти частин, заключення, списку використаної літератури із 375 найменувань, в тому числі 105 найменувань належать автору, додатки.

Основні теоретичні результати викладені у перших трьох частинах, для яких прийнята єдина за композицією і структурою форма викладення матеріалу. Кожна частина роз'єднана на параграфи, у першому із яких на основі аналізу літературних джерел і з врахуванням поставленої мети дисертаційної роботи формулюються задачі дослідження, виділяються етапи їх рішення. В наступних параграфах з використанням математичного апарату пропонуються підходи і розробляються алгоритми рішення поставлених задач.

ЗМІСТ РОБОТИ

В ПЕРШОМУ РОЗДІЛІ роботи при створенні реальних промислових систем управління БДТП автор зіткнувся із проблемами, які властиві області моделювання динамічних систем, характерних для спе-

ціальності 05.13.02 "Математичне моделювання в наукових дослідженнях". Ці проблеми змусили використовувати методи дослідження, що тяжіють до спеціальних підходів, які дозволяють отримувати математичні моделі МДТП. В теоретичному плані дисертаційна робота формулює задачу формування МДТП з неповною інформацією про стан, нечітко вираженими умовами розвитку і випадковою тривалістю стадій. В прикладному плані задачу управління якістю цільової продукції, із забезпеченням додаткових обмежень на безпечне функціонування об'єкта. Характерною особливістю МДТП є висока розмірність простору вимірювань, наявність сквових координат вектора стану, які з'являються і зникають, розривність підпроцесів, де кожному підпроцесу (стадії) відповідає своя фізична модель завантаження компонентів та інгредієнтів сировини, модель нагріву сировини, модель кипіння, модель ендотермічної або екзотермічної реакції, модель сушіння і т.д. Умови розвитку підпроцесів є нечітко вираженими з причини того, що досліджувані процеси протікають у закритих ємностях і доступ до отримання достовірної інформації про граничні та крайові умови розвитку максимально ускладнений. Постановки основних задач дисертаційної роботи включають підходи до моделювання МДТП, куди входять задачі: структуризації, ідентифікації, оцінювання нечітко виражених умов розвитку стадій. Постановки задач синтезу ієрархічної системи управління включають: синтез програмного руху еталонної системи за стадіями (верхній рівень), синтез слідуючої системи управління МДТП (нижній рівень).

1. Задача структуризації об'єкту. Розглядається об'єкт виду

$$x = F^t(x, u, \mu, t, a, w), \quad (1.1)$$

де $t \in R^+$, $t = t_1, t_2, \dots, t_N$, $t_{i-1} < t < t_i$ - час протягу стадій, $x \in R^{n \times n}$ - вектор стану, $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ - вектор стану по стадіях,

$y \in R^{n \times v}$, $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$ - вихідний вектор вимірювання по стадіях, $u \in R^{m \times M}$, $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ - вектор управління вигляду $u_{i \min} < u_i < u_{i \max}$, $a \in R^{m \times M}$, $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ - вектор параметрів, $w \in R^{n \times M}$, $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ - узагальнений вектор параметричних, узагальнених та структурних збурень, $F^t = (F_1^t, F_2^t, \dots, F_n^t)$ - оператор нестационарних нелінійних функцій. На сутиках стадій у дискретні моменти t_1, t_2, \dots, t_n стаються стрибки (порушення неперервності значень змінних стану). Проміжок часу між в'явленням суміжних розривів неперервності вектора стану зветься стадією. Кожна стадія має визначену, але апріорно невідому подовженість T_i ($i=1, 2, \dots, N$). Моменти t_1, t_2, \dots, t_n коли є наявні нечітко виражені розриви, характеризують зміни структури. Наявно, що

$$T_i = t_i - t_{i-1}, \quad i=1, 2, \dots, N \quad (1.2)$$

де N - число неперервних проміжків-стадій. Дослідженню підлягає оператор лінеарізованого вигляду

$$F^t = A^t x + B^t u, \quad (1.3)$$

де $A = \Delta A \leq A < A + \Delta A$, $B = \Delta B \leq B < B + \Delta B$

Задача ідентифікації БДТП. Особливість задачі ідентифікації характеризується виглядом стаціонарного оператора (1.3). По реалізаціям вхідних та вихідних змінних, що отримані в реальних умовах функціонування об'єкту на заданому класі операторів F_1^t визначимо у будь-якому змісті оцінки F_1 істинного оператора технологічної стадії БДТП. Для кількісної оцінки близькості F_1 та F_1 введена функція $\rho(y_1(t), \hat{y}_1(t))$, яка залежить від вихідних змінних вектора траєкторного руху в межах кожної стадії. Для рішення поставленої задачі на математичне очікування цієї функції накладається вимога:

$$E(\rho(y_1(t), \hat{y}_1(t))) \rightarrow \min_{\hat{F}_1} \quad (1.4)$$

3. Задача розробки моделі оцінювання розривів та побудування вирішувального правила "зшивки" стиків технологічних стадій БДТП. Необхідність розв'язання даної задачі диктується умовами нечіткої вираженості розриву меж стадій. На основі пресекування фільтра Калмана отримуємо рівняння оцінки стану вектору нечіткою визначених умов розриву стадій:

$$\hat{x}_{06}(t) = A_{106}x_{06}(t) + K_{106}(y_{106}(t) - C_{106}\hat{x}_{06}(t)) \quad (1.5)$$

Значення параметрів матриць стану та вимірювання мають вигляд

$$A_{106} - \Delta A_{106} < A_{106} < A_{106} + \Delta A_{106} \quad (1.6)$$

Вирішальне правило визначення нечіткою визначених умов розриву прийме вигляд:

$$\begin{aligned} H_{01}: \hat{y}_{06}(t) &= w, & \text{при } t < t_1, \\ H_{11}: y_{06}(t) &= C_{106}\hat{x}_{06}(t), & \text{при } t = t_1 \end{aligned} \quad (1.7)$$

4. Задача моделювання оптимальних стратегій управління еталонної системи БДТП з випадковою подовженістю його стадій. Задача моделювання оптимальних стратегій управління еталонної системи БДТП з випадковою подовженістю його стадій передбачає оптимізацію як закону управління $u_e(t)$, так і оптимізацію протягу стадій τ . Задача моделювання оптимальних стратегій у дисертаційній роботі буде розглядатися у двох варіантах:

а) безпосереднє вимірювання фазових змінних, а в цьому випадку вектор стану $x(t)$ вважається повністю відомим;

б) непряме вимірювання фазових змінних, у цьому випадку замість $x(t)$ вектор $y(t)$, взагалі меншої розмірності ніж $x(t)$.

У такій послідовності і виконаємо постановку задачі моделювання стратегій управління БДТП. При безпосередньому вимірюванні фазових змінних БДТП може бути заданий рівнянням стану, що описується стохастичним диференціальним рівнянням дифузного типу:

$$dx_e(t) = [Ax_e(t) + Bu_e(t)]dt + D_1dn_1(t), x(t_0) = x_0 \quad (1.8)$$

де $x_e \in \mathbb{R}^n$ -вектор фазових змінних, $u_e \in \mathbb{R}^m$ -вектор в множині допусти-

мих управлінь, $t \in R^1$ - текучий час, $t_{i-1} < t < t_i$, $\eta \in R^n$ - вектор стандартного вінеровського процесу в незалежних компонентах, A, B, D - матриці відповідних розмірів.

Задача моделювання стратегії управління заключається в тому, щоб на траєкторії руху $x_e(t)$ знайти такі, що забезпечують мінімум функціоналу якості

$$I(u_e(t), \tau) = M(x_e(t_1)R_1x_e^T(t_1) + C_0\tau + \sum_{i=1}^N \int_{t_{i-1}}^{t_i} [x_e(t)R_2x_e^T(t) + u_e(t)R_3u_e^T(t)] dt) \rightarrow \inf \quad (1.9)$$

де τ - час подовженості стадії, M - математичне очікування від функціоналу якості, $R_1; R_2; R_3$ - матриці вагових коефіцієнтів відповідних розмірів, C_0 - постійна, що характеризує вартість одиниці часу.

Результатом моделювання являється розв'язання задачі синтезу оптимального у змісті мінімуму функціоналу (1.9) управління стохастичною системою (1.8). При цьому τ подовженості стадії ВДП вважається випадковою та визначається як марківський момент першого досягнення траєкторії випадкового процесу $x_e(t)$ деякої області $G \in R^n$ в межах Γ . Випадкова величина τ є додатковим параметром оптимізації екстремальної задачі

$$I_e(u_e, \tau) \rightarrow \inf \quad (1.10)$$

у якій необхідно не тільки керувати процесом, але й оптимально виконати закінчення стадії ВДП або провести зупинку цієї стадії. Така постановка задачі являє собою поєднання ідей оптимального стохастичного управління та послідовного аналізу (оптимальних правил зупинки). При цьому оптимізація по $u_e(t) \in U$ відбувається моделюванням оптимального закону управління $u_e(t) = u(t, x_e(t))$ у вигляді синтезуючої функції, що визначається на

множині траєкторій простору R^n , а оптимальна подовженість управління

$$\tau = \inf \{t > 0; x_e(t) \in \Gamma\} \quad (1.11)$$

визначається межею Γ області G . Додатковою специфічною особливістю задачі є те, що межа Γ стадії апіорі не задана та віднаходиться з умови оптимальності критерія якості $I(u_e(t), \tau)$.

Завдання сумісної оптимізації функціоналу $I(u, \tau)$ на парі $\delta = \{u, \tau\} \in \Delta$ присвячено порівняно небагато робіт. Взагалі дослідження цього плану стосувалися управління рухомими об'єктами та у відкритому дзусі не публікувалися. Публікації, що пов'язані з управлінням різного роду технологічними об'єктами, повністю відсутні. Для управління рухомими об'єктами методи вирішення вказаних задач являють собою модифікацію та узагальнення підходу Белмана. Для пов'язання основних функціональних рівнянь пропонуються ітеративні процедури методу послідовних наближень. Розглянемо постановку моделювання стратегій управління БДП при безпосередньому вимірюванні фазових змінних. Припустимо, що у БДП змінюється вектор $y(t)$, що вдовольняє стохастичному диференційному рівнянню

$$dy_e(t) = Cx_e(t) + D_2 d\eta_2(t), \quad y(0) = 0 \quad (1.12)$$

У рівнянні вимірювального каналу (1.12) $y_e \in R^r$ - вектор спостережуваних координат C , D_2 - матриці відповідних розмірів, $\eta_2(t)$ - r -мірний стандартний вінерівський процес, незалежний від $\eta_1(t)$.

Задача моделювання оптимальних стратегій по суті визначається структурою множини пар $\delta = \{u_e(t), \tau\} \in \Delta$, на яких відшукується екстремум функціоналу (1.8). Далі розглядувану постановку буде розбито на дві підзадачі:

а) оптимізація на класі всічених у детермінований момент

часу T процесів управління, що задані на інтервалі $[0, T]$. У цьому випадку оптимальне правило зупинки визначення кінця стадії має вигляд

$$\tau_T - \min(\tau, T), \tau_e - \inf\{t > 0; \hat{x}_e(t) \in \Gamma\} \quad (1.13)$$

Введення параметра всічення дозволяє отримати розв'язання, по формі адекватне відомому для випадку заданої довжини стадії.

б) Оптимізація на класі невсічених процесів управління. Така постановка задачі використовується у дисертаційній роботі для моделювання оптимальних стратегій управління у квазістаціонарних БДТП.

б. Задача моделювання слідкуючої системи БДТП (нижній рівень управління). Враховуючи збурення, що діють на об'єкт та вимірювальні пристрої задача управління БДТП може бути повністю розв'язана за рахунок введення контура слідкування. Тоді на верхньому рівні формується траєкторія $x_e(t)$ по стадіях, яка буде виступати у якості задавочної величини для системи управління нижнього рівня. Рух об'єкта, що управляється, уявимо математичною моделлю

$$\dot{x}(t) = A_1 x(t) + B_1 u(t), \quad x_{1-1}(t) = x_{1-1}, \quad (1.14)$$

$$y(t) = C_1 x(t), \quad t_{1-1} < t < t_1 \quad (1.15)$$

Закон управління приймемо у вигляді

$$u(t) = K_{11} y(t) - K_{12} C_1 x(t) \quad (1.16)$$

Де K_{11} - m -мірний вектор невідомих параметрів, котрі підлягають визначенню. Будемо вважати задачу пошуку таких параметрів K_{11} , при котрих рух замкнутої системи

$$\dot{x}(t) = (A_1 + B_1 K_{11} C_1) x(t) \quad (1.17)$$

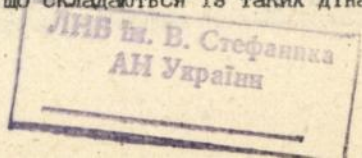
з точки x_0 у початок координат $x=0$ здійснюється бажаним чином. Будемо вимагати, щоб вихідна змінна $y(t)$ у найбільшій ступені наближується до вихідної змінної еталонної системи

$$x_e(t) = \bar{A}_1 e x(t), \quad x_e(0) = x_{e0} \quad (1.18)$$

$$y_e(t) = C_1 e x_e(t), \quad t_{i-1} < t < t_i \quad (1.19)$$

де $A_e \in R^{n \times n}$ визначає бажані динамічні якості синтезуємої системи. У якості міри близькості $x(t)$ до $x_e(t)$ прийmemo функціонал I . Отже, запропонована нова математична модель БДП з неповною інформацією про стан у вигляді сукупності звичайних диференціальних рівнянь, що змінюють одне одного, отриманих в результаті структурної і часової декомпозиції. Структурна декомпозиція зводиться до розбиття багатьох неповних вимірів БДП на вектор траекторного руху, вектор оцінювання нечітко виражених умов розриву стадій. Часова декомпозиція вирішує задачу до визначення проміжних нечітко виражених умов розриву стадій, на основі котрих підпроцеси пов'язуються в єдиний технологічний процес. Вперше для розглядуваного класу об'єктів поставлено задачу синтезу управління БДП, що відноситься до класу ієрархічних систем. Функції верхнього рівня зводяться до реалізації субоптимальних програмно-замкнутих рухів, що мінімізують тривалість технологічного циклу на основі довизначення проміжних нечітко виражених умов розриву стадій згідно текучої інформації реального об'єкту. Функції нижнього рівня зводяться до вирішення задачі слідування за вектором програмно-замкнутого руху по стадіях з компенсацією параметричних і координатних збурень.

В ДРУГІЙ ГЛАВІ викладено результати досліджень з математичного моделювання БДП та їх систем управління. Враховуючи, що у викладенні першого розділу досить докладно розглянуто задачі структуризації БДП, головну увагу цього розділу буде зосереджено на особливостях вирішення задач моделювання БДП. Специфічні особливості функціонування БДП приводять до необхідності синтезу ієрархічної системи управління, що складаються із таких дина-



мічно взаємодіючих моделей підсистем.

1. Модель формування оптимальних стратегій управління БДПІ верхнього рівня. Відповідно до постанов задачі моделювання, розглянутих в першій главі, будемо дотримуватись такого порядку. Розглянемо дві задачі моделювання оптимальних стратегій управління БДПІ відповідно при повному векторі вимірів, неповному і неточному векторі вимірів.

а) Моделювання оптимальних стратегій при повній задачі векторі вимірів постає в наступному. Задане рівняння стану вигляду

$$dx_e(t) = [Ax_e(t) + Bu_e(t)]dt + D_1dn_1, \quad x(t_0) = x_0 \quad (2.1)$$

Необхідно синтезувати такий закон управління $u_e(t)$, котрий доставляє мінімум функціоналу якості

$$J_e(u_e, \tau) = x_e^T(\tau)R_1x_e(\tau) + C_0(\tau-s) + \int_s^\tau [x_e^T(t)R_2x_e(t) + u_e^T(t)R_3u_e(t)]dt \quad (2.2)$$

Для вирішення поставленої задачі введемо у розгляд функцію Белмана

$$V(s, x_e) = \inf_{u_e} M \{ x_e^T(\tau)R_1x_e(\tau) + C_0(\tau-s) + \int_s^\tau [x_e^T(t)R_2x_e(t) + u_e^T(t)R_3u_e(t)]dt \} \quad (2.3)$$

де M_{s, x_e} - усереднення в переходній міри P_{s, x_e} марківського процесу X_e . В пропозиції вічності правила зупинки стадії формалізм динамічного програмування приводить до наступної крайової задачі з невідомою межею типа Стефана

$$\inf_{u_e} [L_{s, x_e} V(s, x_e) + x_e^T R_2 x_e + u_e^T R_3 u_e] - C_0, \quad x \in G \quad (2.4)$$

$$V(s, x_e) - x_e^T R_1 x_e, \quad x_e \in G \cup T \quad (2.5)$$

$$V(T_1, x_e) - x_e^T R_1 x_e, \quad x \in R^n \quad (2.6)$$

$$V_{x_e} V(s_0, x_e) - 2R_1 x, \quad x \in \partial G - \Gamma \quad (2.7)$$

$$L_{s, x_e} = \frac{\partial}{\partial s} + (Ax_e + Bu_e, \nabla_x) + \frac{1}{2} \text{Sp} [D_1 s^T D_1 s \nabla_s^2] \quad (2.8)$$

де L_{s, x_e} - призводящий оператор дифузійного процесу (2.1), ∇_x - вектор-градієнт, ∇_x^2 - матриця другіх похідних. Сенс наведених співвідношень слідуєчий: (2.4) - диференціальне рівняння в особистих похідних для функції Белмана; (2.5), (2.6) - крайові умови для рівняння (2.4). При додаткових пропозиціях регулярності функція $V(s, x_e)$ вдовольняє умовам "гладкого склеювання" (2.7), які дозволяють

$$V_T(s, x_e) - x_e^T R_{1s} x_e + C(T-s) + \int_s^T \text{Sp} D_1 R_0 D_1^T dt \quad (2.9)$$

$$u_{eT}(s, x_e) - R_3 B_e R_1 x_e \quad (2.10)$$

де додатньо визначена матриця R_{1s} в розв'язком рівняння Ріккати

$$R_1 + A^T R_1 + A R_1 - R_1 B R_3^{-1} B^T R_1 + R_2 = 0; \quad R_{1T} = R_1 \quad (2.11)$$

Функції (2.9), (2.10) визначають рішення екстремальної задачі (2.2) для кожного заданого значення параметру T . Щоб отримати оптимальне рішення на класі всіх всічених процесів, необхідно знайти екстремальне значення T_{opt} з умови типу трансверсальності

$$T_{opt}(x_e) - \text{Arg} \min \{V_T(0, x_e); \quad x_e \in R^n\} \quad (2.12)$$

Оптимальна межа Γ визначає правило зупинки стадії τ і дорівнює

$$\Gamma_s = \{(s, x_e) : V(s, x_e) - x_e^T R_1 x_e\} \quad (2.13)$$

Оптимальне значення критерія $I_e(u_e, \tau)$ в екстремальній задачі (2.2) задається формулою:

$$V(0, x_0) = \begin{cases} - & - \\ x^T R_1 x + CT_{opt} + \int_0^{T_{opt}} S_p D_1 R_t D_1^T dt, & x \in G \\ - & - \\ x^T R_1 x, & x \in G \cup \Gamma \end{cases} \quad (2.14)$$

а оптимальний закон управління має вигляд негативного зворотного зв'язку зі змінним коефіцієнтом управління визначається формулою (2.10), де $x_e(t)$ -траєкторія процесу (2.1), що відповідає оптимальному закону (2.10). Підставивши (2.10) у вихідне рівняння (2.1), отримаємо

$$dx_e(t) = [A - ER_3^{-1}BR_3] x_e(t) + D_1 d\eta_v, \quad x(t_0) = x_0 \quad (2.15)$$

Оптимальне правило зупинки стадій, що визначає час швидкодії, знаходиться як перший момент досягнення процесом $x_e(t)$ межі

$$\tau = \inf \{t > 0: V(t, x_e(t) - x_e(t)R_1x(t)) = - \\ = \inf \{t > 0: x_e(t) \in \Gamma\} \quad (2.16)$$

Отже, отримано один з важливих результатів дисертаційної роботи, де визначена стратегія управління БДТП в повним вектором стану, що вбирає в себе як визначення оптимального закону управління, так і оптимальної тривалості стадії.

б) Моделювання оптимальних стратегій управління БДТП при неповному завданні вектора вимірів. Нехай частково спостережуваний керований процес $(x(t), y(t))$, $0 < t < T$, де $x(t)$ - вектор стану БДТП, є рішенням стохастичного диференційного рівняння (1), $y(t)$ - вектор частково спостережуваних змінних, задається стохастичним диференційним рівнянням

$$dy(t) = Cx(t) + D_2 d\eta_2(t), \quad y(0) = 0 \quad (2.17)$$

Вважається, що рішення (2.1) і (2.17) з початковими умовами $(x(0), y(0))$ в параметрами оцінок $x(t)$ і коваріації $V(t)$ існує і

едине. То апостеріорний розподіл для вектора стану $X(t)$ і частково спостережуваного процесу $y(t)$ можна уявити так:

$$\hat{x}(t) = M(x(t)|Y); \quad (2.18)$$

$$V = M(x(t)-\hat{x}(t))(x(t) - \hat{x}(t))^T \quad (2.19)$$

Умови (2.18), (2.19) вдовільняють рівнянням оптимальної лінійної фільтрації:

$$d\hat{x}(t) = [A\hat{x}(t) + Bu(t)]dt + VC^T(D_2^T)^{-1}[dy(s) - C\hat{x}(t)] \quad (2.20)$$

$$V = AV + VA + D_1D_1^T - VC^T(D_2D_2^T)^{-1}CV, \quad V_0 = V \quad (2.21)$$

Для цього випадку функція Белмана прийме такий вигляд:

$$\begin{aligned} & H \\ V(s, \hat{x}) = & \inf_{M_{s, \hat{x}}} \{x^T(\tau)R_1\hat{x}(\tau) - C_0(\tau-s) + S_p R_1 V + \\ & + \int_s^\tau [\hat{x}^T(t)R_2\hat{x}(t) + u^T(t)R_3u(t) + S_p R_2 v] dt \quad (2.22) \end{aligned}$$

при обмеженнях, заданих системою рівнянь (2.20), (2.21). Тут τ - марківський момент зупинки стадії.

Розглянемо випадок всіченості процесу управління. Нехай Θ - область зупинки спостережень у фазовому просторі процесу $x(t)$, а межею Γ , тоді пара (V, Γ) є рішенням системи рівнянь, аналогічної (2.4) - (2.8) і прийме вигляд:

$$\inf_{u \in U} [L_{s, \hat{x}} V(s, \hat{x}) + \hat{x}^T R_2 \hat{x} + u^T R_3 u + S_p R_2 V] = -C_0, \quad \hat{x} \in \Theta \quad (2.23)$$

$$V(s, \hat{x}) = \hat{x}^T R_2 \hat{x} + S_p R_1 V, \quad \hat{x} \in \Theta \cup \Gamma \quad (2.24)$$

$$V(\Gamma, \hat{x}) = \hat{x}^T R_2 \hat{x} + S_p R_1 V, \quad \hat{x} \in R^n \quad (2.25)$$

$$\nabla_{\hat{x}} V(s, \hat{x}) = 2R_1 \hat{x}, \quad \hat{x} \in \Gamma \quad (2.26)$$

$$L_{s, \hat{x}} = \frac{\partial}{\partial s} + (A\hat{x} + Bu_1 \nabla_{\hat{x}}) + \frac{1}{2} S_p [VC(D_2 D_2^T)^{-1} CV \nabla_{\hat{x}}^2] \quad (2.27)$$

Загальне рішення цієї крайової задачі шукається в наступному вигляді

$$V_T(s, \hat{x}) = \hat{x}^T R_2 x + Q \quad (2.28)$$

$$U_T(s, \hat{x}) = -R_3 B R_2^{-1} \hat{x} \quad (2.29)$$

де додатньо визначена матриця і функція вдовільняє рівнянням

$$\dot{R}_1 + A^T R_1 + R_1 A - R_1 B R_3^{-1} B^T R_1 + R_2 = 0; R_1 T = R_1 \quad (2.30)$$

$$\dot{Q} + S_p [R_1 V C (D_2 D_2^T)^{-1} C V] + S_p R_2 V + C_0 = 0; Q_T - S_p R_1 V \quad (2.31)$$

Співвідношення (2.28) і (2.31) визначають рішення задач для будь-якого фіксованого значення параметра ввічення T . Обираючи з умов трансверсальності

$$T(\hat{x}) = \text{Arg min} \{V_T(0, \hat{x}), \hat{x} \in R^n\} \quad (2.32)$$

отримуємо рішення, оптимальне на класі всіх ввічених процесів управління. Оптимальний момент зупинки спостережень (2.20), (2.21) в

$$\tau = \inf \{t > 0: V(t, \hat{x}) - \hat{x}^T R_1 \hat{x} + S_p R_1 V\} \quad (2.33)$$

де траєкторія $x(t)$ відповідає оптимальному закону управління (2.29), підставивши котрий у вихідне рівняння стану (2.20), отримуємо

$$d\hat{x}(t) - [A - B R_3^{-1} B^T R_1] \hat{x}(t) dt + V C (D_2 D_2^T)^{-1} [dy(t) - C \hat{x}(t) dt] \quad (2.34)$$

Отже, отримано наступний результат дисертаційної роботи для БДТП з неповним вектором спостереження, де визначена стратегія управління, що виражає визначення як закону управління, так оптимальну зупинку спостереження тривалості стадії.

2. Модель системи управління нижнього рівня (бінарна система). Синтез бінарної системи управління БДТП дозволяє зменшити помилку регулювання за рахунок введення контуру координатно-операторного зворотнього зв'язку, котрий буде компенсувати координатні і параметричні збурення. Як і раніш, вважаємо, що динамічна модель стадії уявляється у вигляді

$$\dot{x}(t) - (A + \Delta A)_i x(t) + (B + \Delta B)_i u(t) \quad (2.35)$$

$i = 1, 2, \dots, N$ - кількість стадій БДТП, $t_{i-1} < t < t_i$ - час тривалості стадії, $x \in R^n$, $u \in R^m$, A, B - матриці розмірностей $n \times n, n \times m$. Модель еталонної системи

$$\dot{x}_e(t) - A_{1e}(t)x_e(t) + B_1(t)u_e(t) \quad (2.36)$$

Сформуємо сигнал нев'язки

$$\tilde{x}(t) - x(t) - x_e(t) \quad (2.37)$$

Тоді рівняння стану системи відносно сигналу нев'язки уявимо так:

$$\dot{\tilde{x}}(t) - (A(t) + \Delta A)_i \tilde{x}(t) + (B(t) + \Delta B)_i u(t) \quad (2.38)$$

Враховуючи, що досліджувані та технологічні процеси відносяться до класу нестационарних нелінійних об'єктів для проектування систем управління БДТП виявилось корисним використання теорії бінарних систем. Як відомо, за наявності повної інформації про стан об'єкта, його параметри, зовнішні збурення і задані впливи $x_e(t)$ для формування керуючої функції $u(t)$ можна використати принцип роз'єданого регулювання. За відсутністю повної інформації про вектор стану і збурюючі сили застосовують принцип регулювання по відхиленню. Тут потрібне значення керуючої функції $u(t)$ формується як результат перетворення сигналу помилки (2.37)

$$u(t) - R_u(K_u(t)\tilde{x}(t)) \quad (2.39)$$

Тут R_u - оператор ланцюга зворотнього зв'язку, $K_u(t)$ - параметри його настройки. Якщо параметри об'єкта змінюються у невеликих межах, то задану якість системи може бути забезпечено за рахунок підбору $K_u(t)$. На випадок значних змін параметри об'єкту $a(t)$ бажаний ефект може бути досягнуто за рахунок збільшення коефіцієнту підсилення в ланцюгу зворотнього зв'язку до безконечності, проте такі системи нестійкі через виявлення розбіжності в поведінці реального технологічного процесу і його моделі (2.35), покладеної в основу синтезу управління (2.39). Більш глибока

причина цієї невідповідності полягає в тому, що розмірність простору станів реального БДП відрізняється від розмірності простору станів його моделі. Ще одна причина постоє в наявності обмежень на координати реального процесу. Отже, стійкість, а в остаточному випадку, недостатність інформації, про керований процес обмежує реальні можливості метода глибокого координатного зворотнього зв'язку (КЗЗ), для такого роду систем застосування методів бінарного управління виявляється більш бажаним. Суть методу бінарного управління полягає в систематичному застосуванні основного принципу регулювання по відхиленню шляхом реалізації координатного зворотнього зв'язку (КЗЗ) і координатно-оперативного зворотнього зв'язку (КОЗЗ). Метод дозволяє при належному виборі операторів зворотних зв'язків та їх параметрів скомпенсувати вплив на процес регулювання неконтрольованих параметричних і зовнішніх збурень. Вважаючи оператор $R_u(\cdot)$ заданим тим чи іншим чином, сформулюємо функцію

$$x_e^s(t) - S\hat{x}(C, \hat{x}(t)) \quad (2.40)$$

котру будемо розглядати в якості задаючого впливу. Тоді розглядання

$$b(t) - x_e^s(t) - \hat{x}(t) \quad (2.41)$$

характеризує відхилення фактичної поведінки системи (2.35), (2.39) від бажаного. Організуємо за помилкою $b(t)$ негативний зворотній зв'язок, виходом якого є

$$\mu(t) - R_m(\alpha)b(t) \quad (2.42)$$

α - параметри оператора зворотнього зв'язку R_m , а сам оператор R_m такий, що значення $\mu(t)$ належить деякій обмеженій множині M . При цьому параметри R_u регулятора (2.39) зв'язані з вихідним сигналом R_m регулятора

$$K_u(t) - K(\mu(t)) \quad (2.43)$$

Вимоги про обмеження $\mu(t)$ пов'язані з необхідністю зменшення коефіцієнтів передачі в основним регулятором (2.39), що дозволяє обмежити вплив на процес регулювання динамічних неідеальностей та фізичних обмежень у контурі КЗЗ. Оператор R_μ встановлює зв'язок між координатою $b(t)$ та параметрами $K_\mu(t)$, такий зворотній зв'язок наведемо координатно-операторним зв'язком (КОЗ). Поведінку поблизу початку координат можна представити залежністю

$$b(t) = - (o_k(t) - x(t)). \quad (2.44)$$

Для забезпечення умови $b(t) = 0$ бінарні системи повинні мати дві властивості. Перша зводиться до забезпечення знаковизначеності КОЗ, друга до рознесення темпів змінення координат у контурах КОЗ і КОЗЗ. Вказані операції дозволяють досягнути бажаних властивостей системи та розширити порівняно з адаптивними системами область зміни $\mu(t)$. Але тут існують свої обмеження по залежності від параметрів та координат. Цю залежність зменшимо за рахунок організації операторного зворотнього зв'язку (ОЗЗ)

$$\rho(t) = R_\rho(\beta)\mu(t), \quad (2.45)$$

$R_\rho(\cdot)$ - оператор операторного зворотнього зв'язку, β - його параметри. Наявність ОЗЗ дозволяє підтримувати рівність $b(t) = 0$, але досягається це ціною введення залежності між параметрами задатника КЗЗ та параметрами об'єкту

$$C = C(\rho(t)) \quad (2.46)$$

Для усунення вказаного недоліку введемо ще один задатник

$$C_a^S = S_C(d)C(t) \quad (2.47)$$

та організуємо відповідний адитивний зворотній зв'язок

$$V(t) = R_V(\gamma)v(t), \quad (2.48)$$

$$v(t) = C_a^S(t) - C(t), \quad (2.49)$$

$R_V(\cdot)$ - оператор адитивного зворотнього зв'язку, γ - його параметри. Фізичний ефект від використання адитивного зворотнього

в'язку вводитьься від подальшого зближення динамічних якостей задатника та об'єкта, що дозволяє розраховувати на зменшення у встановленому режимі різниці $v(t)$.

Відмінною особливістю наступної роботи є наявність фільтру належних та виключених координат вектора виявлення нечітко виражених умов розриву стадій, банку рухомих моделей стадій, блоків введення у відповідність заданої ділянки еталонної траєкторії динамічним якостям виявленої стадії. Значить, у нашому випадку алгоритм функціонування задатника є динамічною моделлю еталонної системи, адекватною угодженої з характером фізико-хімічних процесів реального БДП.

Таким чином, вперше виконаний синтез системи управління БДП, який віднесено до класу ієрархічних систем. На верхньому рівні моделюється еталонна система управління, на нижньому рівні проектується система слідування за частково-детермінованим багатостадійним еталоном, яка має підсистеми: траєкторного руху реального процесу регулятора реального процесу, що забезпечує мінімізацію нев'язки між частково-детермінованим еталоном та реальним процесом, додатково, система управління нижнього рівня використовує бінарний принцип управління по С.В.Смельянову, що дозволяє скомпенсувати координатні та параметричні збурення БДП. Бінарний контур управління БДП відрізняється від відомих розробок наявністю рухомого банку моделей по стадіям, що реалізує елементи "інтелекту" задатника еталона та захищений авторським свідоцтвом.

ТРЕТЯ ГЛАВА направлена на підготовку, проведення автоматизованого експерименту для визначення структури та чисельних оцінок параметрів матриць стану $f_1(t)$, вимірювання $\phi_1(t)$, управління $B_1(t)$, передаточних функцій $G_1(p)$, розширених матриць стану

системи $A_1(t)$, вагових матриць, від знаходження нечітко виражених умов, розриву стадій, чисельні оцінки часової тривалості стадій.

Розробка динамічних моделей та їх ідентифікація проводиться у відповідності з Постановою ДКНТ СРСР від 30.10.85р. N 555, завдання Об.25А "Створити та ввести у дослідну експлуатацію у Вінницькому політехнічному інституті автоматизовану систему дослідження технологічних періодичних процесів, де автор дисертаційної роботи є співкерівником та відповідальним виконавцем теми. Створена автоматизована система дослідження (АСД) будується на основі міжнародного стандарту КАМАК та серійних засобів обчислювальної техніки з необхідними нормуючими вимірювальними перетворювачами та відповідним інтерфейсом. Апаратура вибрана з урахуванням специфічних особливостей БДПІ та забезпечує функції попередньої підготовки інформації, має гнучку структуру, максимальну взаємозамінюваність модулів, блоків для забезпечення високих показників функціонування системи, де на першому етапі проведення дослідницьких робіт створюється визначена інформаційна надлишковість по контролю змінних вектора траекторного руху та вектора нечітко виражених умов розриву стадій, де експериментально-аналітичні методи оцінювання параметрів моделей виявилися адекватно можливими. Запропоновані принципи побудови та введення визначення АСД БДПІ, направлені на оцінювання параметрів та структур досліджуваних специфічних об'єктів у сланцевопереробній промисловості. Оцінювання невідомих координат вектору траекторного руху та вектора віднаходження нечітко виражених умов розриву стадій проведено на основі планування експерименту з використанням методу найменших квадратів (МНК) та рекурентного методу найменших квадратів (РМНК). Деяку особливість у оцінці

параметрів складо те, що названі вектори утворюють сукупності, що частково перекриваються. Розв'язана задача оцінювання параметрів моделей БДП виробництва електродного коксу. Згідно з загальною методологією виділений вектор траекторного руху - ним є температура топочного простору, виділен також вектор віднаходження нечітко виражених умов розриву стадій, компонентами його є: температура рідинної фази, температура шлемової труби, тиск парів рідини у кубі. Відносно вектору траекторного руху побудовано динамічну модель з змінними параметрами на основі методу, розробленого автором роботи та на основі розв'язку інтегрального рівняння Вінера-Хопфа. Характерною особливістю є те, що для БДП виробництва електродного коксу оцінювання параметрів моделей виконується вперше. Згідно з методологічними основами дисертації розроблена інформаційна підсистема АСД газогенераторного процесу, отримані статистичні та динамічні моделі газогенераторів, що включають моделі газового та температурного режимів. Заснована та побудована математична модель газового режиму у вигляді системи лінійних регресійних рівнянь, показана необхідність адаптації моделі, що розв'язана на основі відомих рекурентних моделей. Математична модель температурного режиму отримана також у вигляді лінійних регресійних рівнянь, що зв'язують залежності кількості отриманої смоли від витрати повітря, сланцю, калорійності генераторного газу, температури теплоносія. Розроблені моделі, що встановлюють зв'язок між температурою теплоносія та витратами вворотнього газу та повітря, температурою газозаливу та розходів сланцю, повітря та температурою теплоносія.

Уперше, з урахуванням специфічних особливостей об'єктів даного класу виконано побудову динамічних моделей БДП, виконана ідентифікація параметрів нестационарної моделі відносно змінних

вектору траекторного руху, при цьому кожен елемент матриць A_1 , B_1 був представлений у вигляді суми номінального (еталонного) значення (A_{01} , B_{01}) та малого збурення. Змінні вектора виявлення нечітко виражених умов розриву стадій утворюють допоміжну підсистему, у котрій формується вирішальне правило "зшивки" моделей траекторного руху. Додатковою умовою побудови моделей виявлення стало забезпечення з одного боку нечутливості до варіації параметрів траекторного руху, з другого боку - чутливості до зміни якостей внутрішньої динаміки процесу по вимірюванню змінних вектора виявлення.

У ЧЕТВЕРТІЙ ГЛАВІ виконується синтез управління БДТП з неповною інформацією про стан та нечітко вираженими умовами розриву меж стадій. Наведені результати параметричної оптимізації управляючих функцій БДТП та особливості обчислювального алгоритма, результати регуляризації алгоритмів параметричної оптимізації, результати синтезу управляючих функцій стосовно до реальних процесів у сланцепереробній промисловості. Розглянемо один з прикладів. Дослідження та розробка системи управління виробництва електродного кокса має важливе значення для нарощування потужності випуску цього дефіцитного цільового продукту. Еталонну траєкторію управління БДТП ми повинні вибрати з врахуванням забезпечення нормальної експлуатації технологічного об'єкту та неможливості перекинення коксоувної маси у конденсаційну систему. Нагадаємо, що БДТП виробництва електродного коксу у кубах має наступні стадії: розпад кубу, загрузка визначеного об'єму сировини у куб, підняття температури рідинної маси, відгон дистильційних фракцій, звирування, прокалка, томління, пропарювання, вигрузка цільового продукту. У зв'язку з дією на об'єкт внутрішніх та зовнішніх збурень тривалість стадій значно змінюється,

тому необхідно було проведення випробувально-дослідницьких робіт, що направлені на пошук векторів - ознак виявлення меж стадій. Розв'язок даної задачі виконано у попередній главі. На стадії розпалювання на ділянку еталонної траєкторії накладаються обмеження швидкості підігрівання кубу, що імітується забезпеченням умов зберігання зовнішньої шкірки окисленого металу кубу, при більшій швидкості підігрівання зовнішня шкірка металу обсіпається, та термін служби кубу зменшується. Кінець стадії розпалювання виявляється по сигналу термометри кубового простору, її температура повинна бути рівною температурі сировини, що загрузується. При невиконанні даної умови можливі два випадки - у кубі можлива наявність води, при загрузці маса вспіюється та викидається із апарату, відбувається незворотня деформація стінок кубу та осипання шару металу, що окислився. Ділянка еталонної траєкторії загрузки зумовлена швидкістю системи дозування. Кінець стадії завантаження виявляється по кінцевому сигналу об'єму сировини, що загрузується. Еталонна траєкторія стадії підняття рідинної маси лімітується також швидкістю зміни температури. Кінець стадії підняття виявляється за рахунок абсолютного значення та швидкості зміни температури у шлемовій трубі. Але, як вказувалось раніше, найбільш відповідальною в стадія відгону дистиляційних фракцій. Займемося дослідженням основних компонент, що впливають на вибір еталонної траєкторії цієї стадії. Траєкторію будемо вибирати в умов задоволення вимог на кінцевий відсоток летючих у цілому продукту в залежності від об'єму завантажуваної дози, тривалості стадії відгона, від температури у топочному просторі. Обмеженням є неможливість перекидів коксуючої маси у конденсаційну систему. Обмеження на гранично допустимий вміст летючих у електродному коксі функціонально пов'язане з заванта-

женням дози V_3 та входить одним з параметрів в критерій, управління БДП. Для визначення об'єму V_3 завантажуваної сланцевої сировини у куб проведені 15 циклів коксування з об'ємом завантаження від 13 до 20 кубічних метрів, що встановлює від 33 до 50 відсотків корисного об'єму. Після закінчення випробувально-дослідницьких робіт визначений оптимальний об'єм дози сировини, що завантажується. На основі теоричних положень другої глави з використанням методів найменших квадратів (МНК), рекурентного методу найменших квадратів (РМНК) та стандартних програм отримано математичний вираз, що зв'язує процент летючих із завантажуванням попелом

$$\lambda = \frac{1}{-0,66 + 0,11V_3 - 0,004V_3^2} \quad (4.1)$$

Гранично допустимою дозою, при якій ще можна отримати коко, що задовольняє $\lambda_{\text{доп}} = 6\%$, є $V_3 = 18 \text{ м}^3$. Об'єм маси, що завантажується дорівнює $V_3 = 17 \text{ м}^3$. Аналіз критеріїв управління показує, що ефективність функціонування АСУ БДП на нижньому рівні буде досягнута мінімізацією циклу коксування. Зменшення циклу коксування досягається за рахунок підвищення температури на стадії кипіння. Однак, воно не може привести до перекидання сировини у конденсаційну апаратуру. Нормальні умови ведення технологічного процесу неможливі без САУ, оскільки об'єкт сильно піддається впливу зовнішніх та внутрішніх збурень. Для вибору еталонної траєкторії управління стадією проведений промисловий експеримент по визначенню залежностей між температурою T топочного простору на стадії кипіння та тривалості циклу коксування. За час проведення експерименту проведено 35 циклів коксування при завантаженні $V_3 = 17 \text{ м}^3$. Температура топочного простору змінювалася у ме-

жах $475^{\circ} < T < 555^{\circ}$. По методу МНК і РМНК одержан математичний вираз, що зв'язує температуру точки T_m та тривалість стадії відгону $\tau_{\text{відг}}$.

$$T_m = 635,18 - 0,28 \tau_{\text{відг}}. \quad (4.2)$$

Тепер можна сформулювати вимоги до якості перехідних процесів нижнього рівня АСУ БДП в умов накладання на них найбільш жорстких вимог на якість цільової продукції. На стадії кипіння ці обмеження будуть виконані, коли САУ, що розв'язує задану на нижньому рівні АСУ БДП, буде стала; максимальне значення T на стадії кипіння не буде перевищувати заданого значення, прийнятого в умови відсутності перекидів; перехідні процеси будуть мати мінімальну тривалість

$$t_{\text{пер}} = \int_0^{\tau_1} T_m dt \rightarrow \min. \quad (4.3)$$

При цьому необхідно, щоб функція збурення належала до класу гірших збурень - дробинних функцій. Розглянемо вплив еталонної траєкторії вектора стану $X_n - N_m$ для стадії відгону $\tau_{\text{відг}}$ на критерій управління

$$\tau_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n \tau_i - \tau_{\text{відг}} + \text{const} \quad (4.4)$$

де τ_i - протяг i -ої стадії. З виразу (4.2) отримаємо, що тривалість стадії відгону дистиляційних фракцій

$$\tau_{\text{відг}} = \text{const} - dT_m \quad (4.5)$$

Таким чином, задача управління стадією зведена до задачі швидкодії. Для виконання мінімізації циклу коксування отримаємо (4.4)

$$\begin{aligned} \tau_{\text{ц}} &= -dT_m + \text{const} - \min \\ X_n - T_m \max &\leq T_{\text{мод}} \end{aligned} \quad (4.6)$$

На основі проведених досліджень можна записати частково-неперервні розв'язки еталонної траєкторії та чисельні значення омак нечіткю виражених умов розриву стадій

Траєкторія	Розрив стадій
$T_{1m} - f_1(t) - 300+5,8t$; $t_0 < t < t_1$;	$x_1 - (t_0)$;
$T_{2m} - f_2(t) - 650$; $t_1 < t < t_2$;	$x_2 - \{ T_m - 650^{\circ}\text{C} \}$;
$T_{3m} - f_3(t) - 650-3,3t$; $t_2 < t < t_3$;	$x_3 - \{ T_{ш.т} - 200-250^{\circ}\text{C} \}$;
$T_{4m} - f_4(t) - 640$; $t_3 < t < t_4$;	$x_4 - \{ T_{ш.т} - 300-320^{\circ}\text{C} \}$;
$T_{5m} - f_5(t) - 640+5,6t$; $t_4 < t < t_5$;	$x_5 - \{ T_{ж.} - 400-405^{\circ}\text{C} \}$;
$T_{6m} - f_6(t) - 800$; $t_5 < t < t_6$;	$x_6 - \{ T_n - 800^{\circ}\text{C} \}$.

Пошук коефіцієнтів рівнянь стадій та кількісних значень омак їх виявлення адійснений методом послідовних наближень в умов мінімізації циклу коксування на основі АСД проведенням активного едсперименту. Розроблена керуюча система ВДТП виробництва електродного коксу захищена трьома авторськими свідоцтвами. Виконаний синтез системи управління газогенераторами для виробництва сланцевих смол. Таким чином, розв'язана задача статистичної оптимізації газогенераторів в умовах нормального функціонування об'єкту. Критерієм оптимізації є функціонал якості, що максимізує продуктивність газогенератора по сланцю. Розв'язана також задача динамічної оптимізації в умовах простов попіловидалення. Критерієм оптимізації є функціонал; максимізуючий вихід смол. Зміна режимів управління відбувається за рахунок синтезу додаткової підсистеми розрізнення стадій (ПРС). Ця розробка захищена чотирма авторськими свідоцтвами.

П'ЯТА ГЛАВА присвячена розкриттю питань втілення результатів досліджень та розробок дисертаційної роботи у сланцепереробній промисловості, де автор працював безпосередньо на виробництві понад 20 років. Послідовно викладемо питання математичного,

проектно-конструкторського забезпечення. Розглянемо також принципові особливості розробки АСУ ТПШ виробництва електродного коксу, АСУ ТП виробництва смол на газогенераторних станціях. Результати досліджень, проведених у сланцепереробній промисловості, виявилися корисними для розробки керуючих систем технологічних процесів відновлення автомобільних шин, виробництва напівпровідникових матеріалів, виробництва біохімічного оцту. Під керівництвом автора і безпосередній його участі розроблено технічні та технологічні проекти керуючих систем виробництва електродного коксу, виробництва смол у газогенераторах середньої і великої потужності, виробництва напівпровідникових матеріалів. Розроблено пакет алгоритмічних модулів оцінювання координат векторів стану, спостережень, управлінь, ідентифікації параметрів стану, управлінь технологічних періодичних процесів. Пакет використовує загальну ідеологію дисертаційної роботи оцінювання, ідентифікації та управління ТВП, ґрунтується на частково-лінійній апроксимації об'єктів дослідження. Пакет алгоритмічних модулів зареєстрований СОФАП ПКБ АСУ м. Київ N 6083 від 16.07.85г.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ. Дисертаційна робота присвячена моделюванню систем управління МДП з неповною інформацією про стан і нечітку вираженими умовами розриву стадій. Робота направлена на розв'язання проблеми керування якістьми цільової продукції шляхом зняття протиріччя між значною невизначеністю динамічної поведінки об'єкта, особливо на стиках і невирішеністю задач оцінки стану синтезу задовільної системи управління традиційними методами. В дисертації поставлена і вирішена важлива наукова і практична проблема, яка має важливе народногосподарське значення. Основні наукові і практичні результати складаються у наступному:

1. Запропонована математична модель з неповною інформацією про

стан МДТП у вигляді сукупності змінючих одна одну звичайних диференціальних рівнянь вектора сквовних змінних апроксимуючих рівняння дифузного типу з невизначеними початковими, проміжними і термінальними умовами, які вимагають довивзначення. Довивзначення здійснюється за рахунок формування допоміжного вектора виникаючих і зникаючих координат з включенням спеціального спостерігача нечітко виражених умов розриву стадій. За рахунок отриманої інформації вдалось знизити невизначеність поведінки внутрішньої динаміки МДТП - вирішити задачу знаходження нечітко виражених умов розриву стадій таким чином, пов'язати окремі досліджувані підпроцеси в єдиний технологічний процес. Для класу реальних МДТП, що розглядаються, вперше вирішені задачі отримання адекватних математичних моделей МДТП.

2. Вирішена задача оцінки параметрів моделі визначення нечітко виражених умов розриву стадій і моделі траекторного руху. Рішенням першої задачі є значення сигналу "одиниця" або "нуль" в залежності від висунутої гіпотези умов закінчення стадій. Рішенням другої моделі є траекторія руху системи. В залежності від оцінки параметрів, тут виділяються рішення еталонної системи та рішення реальної системи. В даному підході новизна досягнута за рахунок гнучкої взаємодії моделей, де з одного боку вдалось понизити трудоемність за рахунок декомпозиції, з другого боку забезпечити можливість отримання рішення, де рівняння віднаходження забезпечують оцінки початкових умов обох управлінь. Рішення задачі оцінювання опробоване на двох реальних МДТП виробництва електродного коксу та виробництва смол в газогенераторах.

3. Здійснено синтез систем управління МДТП, який віднесений до класу ієрархічних систем. На верхньому рівні проектується кусково-безперервна еталона система управління, на нижньому рівні ви-

рішується задача стеження за кусково-безперервним багатостадійним еталоном.

4. Рішення задач параметричної оптимізації і регуляризації управляючої функції розширеної системи траєкторного руху, що виключає рівняння стану реальної і еталонової системи. Задача наближення вихідної змінної синтезованої системи управління МДП до її еталонової траєкторії введена до визначення помилки мінімізуючого функціонала якості. Рішення задачі параметричної оптимізації доведено до розробки обчислювального алгоритму, написання програми і апробації в реальній ситуації при синтезі управляючої функції МДП виробництва електродного коксу.

5. Основні результати дослідження втілені в виробничих умовах сланцепереробної промисловості і в деяких інших галузях народного господарства, відображених в переліку літературних джерел та інших документах. Загальний реальний економічний ефект від втілення результатів дисертаційної роботи складає 830,4 тис. крб. в рік в цінах 1988 року.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ дисертації опубліковані в наступних джерелах.- Учебні посібники

1. Автоматизация проектирования систем автоматического управления: Учеб. пособие / С.В.Охимчук, В.Н.Лысогор, В.Ю.Марушак. К. МВССО УССР, 1989.-172.

-Тематический обзор

2. Лысогор В.Н. Опыт разработки и внедрения АСУ ТП производства электродного кокса в аппаратах периодического действия // Тематический обзор. Серия. Автоматизация контрольно-измерительные приборы в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. - М.: ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, - 1979. - с.60.

- Статьи в журналах и научно-технических сборниках

3. Моделирование различения стадий многостадийного технологического процесса / В.В.Зубарев, В.Н.Лысогор, Р.В.Селезнева / Висник ВПИ.- 1994 - N 1.- с.13-17.
4. Лысогор В.Н., Карасев И.С. Из практики контроля входных устройств низкого уровня // Приборы и системы управления: Науч.-тех.журнал.- М.,1970.- N 11.- с.45-46.
5. Лысогор В.Н., Аунап А.К., Биттер Я.К. Система программного регулирования обогрева коксового куба: Науч.- тех. Сб. // Сланцевая и химическая промышленность. - Таллин.- 1966.- N 5. -с.27-29.
6. Лысогор В.Н. Синтез модального управления для технологических периодических процессов. // Вычислительные, измерительные и управляющие системы. Труды ЛПИ. N 123.- Ленинград, 1988.- с.73-75.
7. Марущак В.Ю., Лысогор В.Н. К вопросу исследования критериальной основы АСУ шинным и шиновосстановительным производством: Сборник // Эффективность и моделирование АСУ.- Киев.: Институт Кибернетики.-1980.- с. 44-49.
8. Лысогор В.Н. Автоматическое дозирование смолы в коксовые кубы. // Горючие сланцы: Науч.-тех. сб. - Таллин, 1967. -с.19-21.
9. Лысогор В.Н., Гойзман В.М. Проблемы автоматизации производства электродного кокса: Сборник // Материалы научно-технического совещания по комплексному использованию горючих сланцев.-М.: ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, 1967.-с. 27-31.
10. Лысогор В.Н., Гойзман В.М., Серебрянников Н.Д. Проблемы автоматизации сланцеперерабатывающего производства // Горючие сланцы: Науч.-тех. сб.- Таллин, 1970.- N 2.- с.17-20.
11. Лысогор В.Н. Комплексная автоматизация установки дефеоляции сточных вод // Горючие сланцы: Науч. -тех. сб.- Таллин, 1967.- N 2.-с.20-23.

12. Лысогор В.Н., Карасев И.С. Сигнализатор падения давления воздуха вентиляционных систем // Автоматизация и контрольно-измерительные приборы: Науч.-тех.сб. - М.:ЦНИТЭНЕФТЕХИМ, 1970. - № 1
13. Сычев В.С., Лысогор В.Н. Статистический анализ системы автоматического управления. // Горючие сланцы: Науч.-тех.сб. - Таллин, 1972. - № 5. - с. 48-56.
14. Захаров А.В., Лысогор В.Н., Серебрянников Н.Д. Разработка автоматизированной системы управления СПК им. В.И.Ленина // Горючие сланцы: Науч.тех.сб. - Таллин, 1972. - № 6. - с. 38-43.
15. Лысогор В.Н. Некоторые вопросы автоматизации процесса коксования: Сборник // Автоматизация производственных процессов. Труды КПИ. - Калинин. 1973. - с.152-156.
16. Серебрянников Н.Д., Лысогор В.Н., Гойzman В.М. Пути совершенствования управления сланцеперерабатывающим комбинатом им. В.И.Ленина. // Горючие сланцы: Науч.-тех.сб. - Таллин, 1973. - № 3. - с. 3-5.
17. Лысогор В.Н., Осие И.В., Сычев В.С. Автоматизация технологического процесса получения электродного кокса в кубах. // Горючие сланцы: Науч.-тех.сб. - Таллин, 1973. - № 3. - с. 33-37.
18. Карасев И.С., Лысогор В.Н. Централизация управления установкой дефеноляции // Горючие сланцы: Науч.-тех.сб. - Таллин, 1973. - с. 38-39.
19. Захаров А.В., Лысогор В.Н., Мельников А.И. АСУ сланцеперерабатывающего комбината // Горючие сланцы: Науч.-тех.сб - Таллин, 1973. - № 3. - с. 10-13.
20. Лысогор В.Н., Николаев В.И. Некоторые вопросы синтеза алгоритмов НЦУ: Сборник // Автоматизация производственных процессов. Труды КПИ. - Калинин. - 1974. - с. 66-72.
21. Лысогор В.Н., Николаев В.И. Формализация задачи управления

установкой производства сланцевых смол // Автоматизация и контрольно-измерительные приборы: Науч.-тех. сб. - М.: ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, 1975. - N 7.

22. Николаев В.И., Лысогор В.Н. Экспериментальное исследование динамики габогенераторного процесса и построение математической модели // Автоматизация и контрольно-измерительные приборы: Науч.-тех. сб. - М.: ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ. - 1975. - N 6. - с.10-13.

23. Орлов Г.И., Лысогор В.Н. Состояние работ и перспективы развития работ по комплексной автоматизации в сланцеперерабатывающей промышленности // Горючие сланцы: Науч.-тех. сб. - Таллин, 1975. - N 6. - с.32-37.

24. Лысогор В.Н., Николаев В.И. УВМ в замкнутом контуре регулирования процесса полукоксования сланца // Горючие сланцы: Науч.-тех. сб. - Таллин, 1975. - с.37-41.

25. Петухов Е.Ф., Орлов Г.И., Лысогор В.Н., Николаев В.И. Математическое моделирование и оптимизация Химико-технологических процессов сланцепереработки // Автоматизация и контрольно-измерительные приборы: Науч.-тех. сб. - М.: ЦНИИТЭНЕФТЕХИМ, 1977. - N 9. - с.5-7.

26. Маликов В.Т., Лысогор В.Н., Марущак В.Ю. Исследование и выбор оптимальных режимов процессов вулканизации шин / Отчет о НИР, инв. ном. N B617252. - М.: ЦНИИТЕИ. - 1976. - с. 101.

27. Кузьмин И.В., Лысогор В.Н. О создании АСУ периодическими технологическими процессами // АН СССР. IX Всесоюзн. совещ. по проблемам управления: - М.: 1983. с. 349-350.

28. Маликов В.Т., Хаймзон И.Я., Лысогор В.Н., Дубовой В.М. Адаптивный измерительный преобразователь перемещений полосовых материалов: Сборник // АСУ технологическими процессами в промышленности. - Киев.: Знание. 1977.

29. Лысогор В.Н., Ушаков Э.П. Автоматизация процесса нейтрализации жиров. // Пищевая промышленность: Теор. и науч.-практ. журнал. - М., 1988. - № 7. - с.30-31.
30. Лысогор В.Н., Ушаков Э.П. Контроль и управление технологическим процессом производства уксусной кислоты. // Пищевая промышленность: Науч.-проив. сб.-Киев, 1988. - № 3. - с. 43-45.
31. Лысогор В.Н. Автоматическое регулирование соотношения двух потоков "газ - феноляты" //Сланцевая и химическая промышленности: Науч.-тех. сб. - Таллин, 1966. - №4. - с. 38-39.
32. А.с. 384856. Устройство для автоматического управления процессом коксования / В.Н. Лысогор, И.В.Осис, Р.А.Эхин, В.М.Гойзман. Опубл. Бюл. № 25.-1973.
33. А.с. 668339. Способ управления процессом полукоксования сланца в газогенераторе / В.И.Николаев, В.Н.Лысогор, В.П.Лейни, И.Х.Роокс, Опубл. Бюл. № 22.-1979.
34. А.с. 728382. Способ управления процессом полукоксования кускового топлива в двухшахтном газогенераторе. / В.И.Николаев, В.Н. Лысогор, А.А.Аксельрод, Г.И. Орлов и др. Опубл. Бюл. № 4.-1980.
35. А.с 689571. Способ управления процессом полукоксования кускового топлива в двухшахтном газогенераторе / В.И. Николаев, В.Н.Лысогор, А.А.Аксельрод, Г.И.Орлов и др. Опубл. Бюл. № 3.-1979.
36. А.с. 1152957. Устройство для автоматического управления процессом коксования / В.Н.Лысогор. Опубл. Бюл. № 16.- 1985.
37. А.с. 669291. Устройство для измерения угловой скорости / В.А.Поджаренко, Ю.П.Харитоненко, В.Н.Лысогор и др. Опубл. Бюл. № 23.- 1979.
38. А.с. 830243. Устройство для измерения скорости вращения / В.А.Поджаренко, В.Н.Лысогор и др. Опубл. Бюл. № 18.-1981.

39. А.с. 792135. Цифровой ультразвуковой измеритель плотности жидких сред / Р.Н.Кветный, В.Н.Лысогор. Оpubл. Бюл. N 48. - 1980.
40. А.с 822014. Ультровуковой измеритель плотности жидких сред / Р.Н.Кветный, В.Н.Лысогор. Оpubл. Бюл. N 14. -1981.
41. А.с. 1409651 от 15.10.1988г. Способ производства уксусной кислоты / В.Н.Лысогор, Э.П.Ушаков, П.С.Ушаков.
42. А.с. 1472486 от 15.12.88г. Способ автоматического управления процессом нейтрализации жиров в мыльно-щелочном растворе.//Э.П.Ушаков, В.Н.Лысогор, П.С.Ушаков.
43. А.с. 1560545 от 3.01.1990г. Устройство автоматического управления процессом коксования / В.Н.Лысогор, Т.В.Княгинина.
44. А.с. N 1705802 от 15.09.1991г. Бинарная система управления./ В.Н.Лысогор, А.Э.Волосович, И.Е.Тютюнников.
45. А.с. N 1658634 от 22.02.1991г.Способ управления процессом полукоксования кускового топлива в двухшатном газогенераторе./ В.И.Николаев, В.Н.Лысогор, А.П.Григорьев, Ю.В.Шабатура.
46. А.с. N1698873 от 15.08.1991г. Устройство для измерения временных интервалов / В.Н.Лысогор, С.Г.Лютворт, Ю.В.Шабатура, А.П.Григорьев.
47. А.с. N 1572283 от 15.02.1990г. Устройство для преобразования кодов с одного языка на другой./ Г.М.Букат, В.Н.Лысогор, А.Э.Волосович, И.Е.Тютюнников.
48. А.с. N 1619243 от 8.09.1990г. Генератор последовательности весов кода./ И.Е.Тютюнников, Ю.В.Шабатура, В.Н.Лысогор.
49. А.с. N 1711144 от 8.10.1991г. Генератор последовательности весов кода. / И.Е.Тютюнников, В.Н.Лысогор, А.Э.Волосович, Д.В.Ванжула.

Б.О. Лисогор В.М., Сокол В.Д. Розв'язання бінарної задачі перевірки гіпотез при вивченні дискретного сигналу у багатостадійному динамічному технологічному процесі//Вісник Вінницького Політехнічного Інституту. -1994. -N 3(4) - с.12-15.

Lisogor V.M. The model of system of operate by manystage dynamic technologic prosseses with incomplete information about state and indistinct bounds of stages.

Dissertation work in the form of manuscrepte for gating the scientific degree of doctor of the technical sciense for specialize 05.13.02 - mathematic model in the scientist researching, Vinnitsa State Technical University, Vinnitsa, 1995.

93 scientist works including 19 author sertificate, dedicated for model of system of operate by manystage dynamic technologic prosseses (MDTP) with incomplete information about state and indistinct bounds of stages. The mathematic model in form of system of ordinary differential equations is proposed. Owing to this model undetermination of inner dynamic of MDTP is decreased, task of find of the indistinct determined conditions of break off stages is solved and effective system of operating is built. The doublelevel system of operating MDTP is proposed and have been research. In the upper level of system the standard behaviour of MDTP on stages is model and in the lower level the task of the folowing by standard is solved. In that time some departments of the standard are selecting to satisfy the conditions of optimation of operating function and optimal lenght of stage.

Лысогор В.Н. Моделирование многостадийных динамических технологических процессов с неполной информацией о состоянии и нечеткими границами стадий.

Диссертационная работа на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.02 - математическое моделирование в научных исследованиях, Винницкий Государственный Технический Университет, Винница, 1995.

Защищаются 93 научные работы, в том числе 19 авторских свидетельств, посвященных моделированию систем управления многостадийных динамических технологических процессов (МДТП) с неполной информацией о состоянии и нечеткими границами стадий. Предложена математическая модель в виде совокупности сменяющих друг друга обыкновенных дифференциальных уравнений, за счет чего удалось снизить неопределенность внутренней динамики МДТП, решить задачу обнаружения нечетко выраженных условий разрыва стадий и построить эффективную систему управления. Предложена и исследована двухуровневая система управления МДТП, где на верхнем уровне моделируется эталонное поведение МДТП по стадиям, а на нижнем уровне решается задача слежения за эталоном; при этом отдельные участки эталона выбираются таким образом, что удовлетворяют условиям оптимальности как управляющей функции, так и оптимальной продолжительности стадий.

Ключові слова: рівняння стану, стратегія управління, критерій якості, функціонал якості, нечіткі границі, технологічний процес.

Підписано до друку 24 0595

Друк офсетний. Папір офсетний. Тір. 100 прим., Зак. №12
СКТЕ "Модуль", Хмельницька дорога, 95

453008

Ab 32.649

AB 32.649