НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Войтов Олег Анатолійович

УДК 681.5.03.037

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ З НЕПОВНОЮ ІНФОРМАТИВНІСТЮ

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація технологічних процесів

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ - 2004

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
УШАКОВ Едуард Павлович,
Вінницький національний технічний університет, доцент кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
ХОБІН Віктор Андрійович,
Одеська національна академія харчових технологій, професор кафедри автоматизації виробничих процесів.

кандидат технічних наук, доцент
КИШЕНЬКО Василь Дмитрович,
Національний університет харчових технологій, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Провідна установа: Одеський національний політехнічний університет Міністерства освіти і науки України, кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів.

Захист відбудеться 22 грудня 2004р. о 14^{00} годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К26.058.05 Національного університету харчових технологій. 01017, м. Київ, вул. Володимирська, 68. ауд. А-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій.

Автореферат розісланий 4 листопада 2004р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради Філоненко В.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Швидкий прогрес обчислювальної техніки та суттєве підвищення виробності мікропроцесорів та мікроконтролерів надають нові можливості для керування складними об’єктами та процесами у реальному часі. При цьому виникає необхідність розробки алгоритмів для систем керування такими об’єктами та процесами, що найбільш повно використовують існуючі та зростаючі можливості обчислювальної техніки. Річ іде, перед усім, про адаптивні системи керування, які використовують у реальному часі інформацію, що надходить про сигнали та параметри об’єкту для вироблення керуючих сигналів.

При керуванні складними об'єктами труднощі виникають в тих випадках, коли невідома чи маловивчена природа процесів, що протікають у них, тобто приходиться стикатися з неповнотою інформації про об'єкт керування. Яка саме стратегія, з погляду заданого критерію, виявиться, у зазначених вище умовах оптимальності, істотно залежить від тих обмежень на множині припустимих стратегій, що виникають у зв'язку з неповнотою інформації. Розвиток різних підходів до побудови систем керування, що здійснюють оптимізацію процесів управління в умовах неповної інформації, становить особливий інтерес для автоматизації та підвищення ефективності різних виробничих процесів.

Всім методам прогнозування притаманна загальна властивість - вірогідність (точність) прогнозів істотно обмежена в часі. В силу цього, керування, формоване в кожний поточний момент на підставі реальних прогнозів, приймається в умовах специфічної неповноти інформації про об'єкт і зовнішні впливи.

Зв’язок теми дисертації з планом основних наукових досліджень.

Робота виконана в рамках держбюджетних та госпдоговірних тем, що виконувались в Вінницькому інституті регіональної економіки та управління і в Вінницькому національному технічному університеті. Синтезовані і досліджені в дисертації алгоритми були використані під час виконання робіт №99-33 "Розробка принципів побудови, структури та методів цифрового моделювання процесів системи: інтелектуальна САУ - складний динамічний об'єкт", №02-21-1 "Принципи побудови, структура та методи управління розподіленими технологічними об'єктами", №28-Д-154 „Розробка принципів створення та математичних моделей систем управління виробничими комплексами” у відповідності до пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки України та в рамках розробки математичного та програмного забезпечення для автоматизації технологічних процесів цукрових виробництв.

Мета роботи полягає в дослідженні, розробці й апробації адекватних математичних моделей процесів управління технологічними об’єктами в

умовах специфічної неповноти інформації про об'єкт і зовнішні впливи, ефективних способів оперативного управління, що забезпечують реальне підвищення якості й ефективності функціонування технологічного устаткування.

Основні задачі дослідження:

1. Розробка методики комплексного рішення задачі підвищення ефективності функціонування технологічних об’єктів в умовах неповноти інформації про об'єкт і зовнішні впливи.
2. Аналіз недоліків існуючих методів контролю і управління і пов'язаних із ними втрат продукту й енергоресурсів.
3. Побудова адекватної математичної моделі об'єкта управління з врахуванням довжини інтервалу прогнозування.
4. Дослідження систем керування з ковзним інтервалом оптимізації з урахуванням його довжини для дискретних і для безупинних лінійних багатомірних об'єктів при квадратичному критерії якості.

Методи дослідження засновані на синтезованому застосуванні теорії ідентифікації, теорії керування, математичної статистики, теорії імовірності та теорії матриць. Ефективність розроблених алгоритмів підтверджується результатами їх експериментальних досліджень на ЕОМ.

Об'єктом досліджень є технологічні процеси з неповною інформативністю, що моделюються для досягнення мети управління - заданих часових і технологічних режимів.

Предметом досліджень є математичні моделі технологічних процесів з неповною інформативністю і системи управління з ковзним інтервалом оптимізації, методи ідентифікації й оцінки стану об'єкта управління.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в тому, що:

1. Сформульовано задачу синтезу систем керування з ковзним інтервалом оптимізації й отримане її рішення з урахуванням довжини ковзного інтервалу як для дискретних, так і для безупинних лінійних багатомірних об'єктів при квадратичному критерії якості.
2. Розроблений і досліджений аналітично, методом цифрового моделювання і практично алгоритм керування технологічними процесами з неповною інформативністю, що реалізує отримане рішення.
3. Отримано рівняння руху замкнутої багатомірної системи в загальному нестаціонарному випадку з урахуванням довжини ковзного інтервалу оптимізації і проведене їхнє дослідження для дискретних і неперервних процесів.
4. Досліджено залежність динамічних властивостей синтезованих систем керування і їхня стійкість від довжини інтервалу оптимізації як для

дискретних, так і для безупинних багатомірних об'єктів, параметри яких інваріантні в часі.

5. Досліджено вплив довжини ковзного інтервалу оптимізації, а також параметрів об'єкта й функціоналу оптимізації на динамічні властивості і, зокрема, на стійкість одномірних дискретних і безупинних систем керування.

Практичне значення одержаних результатів.

Результати теоретичного дослідження перевірені на прикладі цифрового моделювання процесів керування автоматизованими технологічними комплексами в галузі цукрової промисловості України. На основі проведеного дослідження розроблене математичне забезпечення, алгоритм і програма мовою Borland Pascal 7.0 для практичного використання при рішенні задач оптимізації керування складними об'єктами.

Реалізація роботи. Результати досліджень впроваджені в практику у ЗАТ „НВО "Харчопромавтоматика" (м. Одеса), ТОВ „Кирнасівський цукровий завод" (Вінницька обл.), ТОВ „Шаргородцукор" (Вінницька обл.), промисловому об'єднанні ТОВ „РегВінІнвест" (м. Вінниця).

Особистий внесок здобувача полягає в розробці методик досліджень, організації та проведенні експериментів в лабораторних та виробничих умовах, обробці отриманих результатів і їх узагальненні, а також в підготовці до публікації і впровадженні результатів проведених досліджень.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації доповідалися на 69-ї науковій конференції молодих вчених НУХТ „Розроблення, дослідження і створення продуктів функціонального харчування, обладнання та нових технологій для харчової і переробної промисловості" (м. Київ, 2003р.), міжнародній науково-технічній конференції „Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах" (м. Хмельницький, 2003р.), 10-й міжнародній науково-технічній конференції „Автоматика-2003" (м. Севастополь, 2003р.), 12-й міжнародній науково-технічній конференції „Прикладные задачи математики и механики" (м. Севастополь, 2003р.), міжнародній науково-технічній конференції „Автоматизация: проблемы, идеи, решения." (м. Севастополь, 2003р.), 6th International Conference TCSET'2004. (Lviv, 2004).

Публікації. Основний зміст роботи викладений у 11 наукових працях, в тому числі 5 статтях у наукових фахових виданнях, затверджених ВАК України, 5 збірниках праць міжнародних науково-технічних конференцій, 1 тезах доповідей на конференції молодих вчених.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 136 найменувань на 11 сторінках, і додатків. Матеріал дисертації викладений на 142 сторінках машинописного тексту, містить 25 рисунків, 8 таблиць, 2 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Показана актуальність роботи з точки зору важливості оперативної оцінки ефективності управління технологічними об'єктами з неповною інформативністю. Задача синтезу адаптивного керування передбачає вирішення задачі ідентифікації, яка зводиться до мінімізації деякого наперед вибраного функціонала якості. Так мінімізація квадратичного функціонала приводить до методу найменших квадратів (МНК), оцінки якого при заваді, що має нормальний розподіл, є ефективними, слушними та незміщеними.

Проблеми технічної кібернетики мають дуже важливе значення для забезпечення ефективності автоматизованих технологічних комплексів, окремих підприємств та економіки в цілому.

Показаний зв'язок з науковими програмами Вінницького національного технічного університету, Вінницького інституту регіональної економіки та управління, з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки України та розробкою математичного та програмного забезпечення для автоматизації технологічних процесів цукрових виробництв. Сформульовані мета і задачі досліджень. Визначені наукова новизна та практичне значення одержаних результатів. Вказано на апробацію результатів дисертації та кількість публікацій.

Перший розділ містить аналіз предметної області, загальну характеристику задач ефективного управління і постановку задач досліджень.

Припустимі стратегії керування являють собою правила прийняття рішень, що дозволяють визначати в деякий момент часу керуючі впливи на підставі наявної інформації про його стан. Найкраща стратегія, з погляду деякого заздалегідь заданого критерію, називається оптимальною. Загальна задача керування зводиться до прийняття деякої послідовності ефективних рішень, причому ефективність оцінюється ходом протікання процесу і його кінцевим результатом. Задача керування зводиться в такий спосіб до задачі визначення оптимальної стратегії для багатокрокового процесу прийняття рішення. Розвиток різних підходів до побудови систем керування, що здійснюють оптимізацію процесів в умовах неповної інформації, становить особливий інтерес для підвищення ефективності різних виробничих процесів і в цьому напрямку вже досягнуті успіхи.

Однак, незважаючи на те, що дослідженню і розробці цих питань присвячена велика кількість робіт, виконаних як у нас в державі, так і за рубежем, проблема ця залишається важкою й актуальною. Одну із труднощів складає багатогранність видів неповноти інформації про керовані об'єкти. Подібні задачі виникають при необхідності еквідистантного огинання заданої поверхні (просторової чи плоскої кривої) рухливим об'єктом під водою, на землі, в повітрі чи в космосі, в умовах обмеженої видимості.

Дуже поширеною є проблема управління дифузійними та вакуумними апаратами в цукровому виробництві, коли характеристики об’єктів управління важко прогнозувати через не передбачувані зміни фізико – хімічних властивостей вхідної сировини.

Для багатьох важливих задач керування характерні наступні умови: інформація надходить дискретно за визначені інтервали часу. Наприкінці поточного інтервалу часу необхідно обробити всю наявну інформацію і задати конкретні значення регулюючих впливів на наступний (майбутній) інтервал часу так, щоб забезпечити екстремум середнього значення показника якості Ф на ряд N_o інтервалів часу вперед.

Пропонована система (рис.1) складається з об'єкта 1, пристрою 2 для прогнозування майбутнього значення його вихідної величини (показника якості) Ф за N_o майбутніх інтервалів часу, оптимізатора 3 для вибору оптимальних значень керуючих впливів і регулятора 4, що включає виконавчі пристрої.

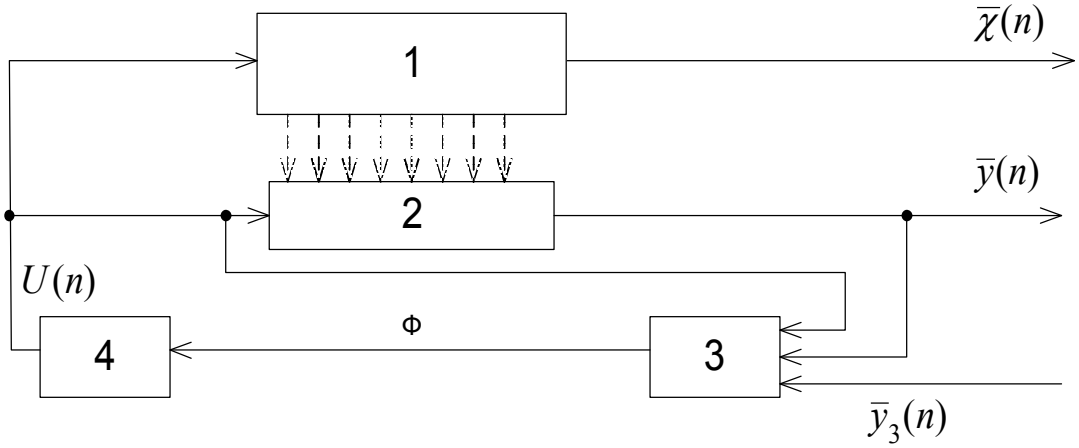

Рис.1. Схема керування з передбаченням управлінських рішень.

Об'єкт керування має r керуючих впливів і одну вихідну величину Ф.

Прогнозуючий пристрій чи прогнозуючий фільтр має необхідну швидкодію і точність. Наприкінці кожного інтервалу часу він синтезує рівняння прогнозування. Прогнозуючий пристрій є адаптивним, так що враховує всі нові дані наприкінці кожного інтервалу.

Оптимізатор визначає оптимальні майбутні значення керуючих впливів, що забезпечують мінімум показника якості Ф на N майбутніх

інтервалах часу. Регулятор включає необхідні перетворюючі і виконавчі пристрої. Він включається на початку кожного інтервалу часу.

Множина дискретних значень часу $N_y \overset{\Delta}{=} \{0,1,\ldots,N_y\}$ - інтервал керування. На цьому інтервалі розглядається рух керованого об'єкта. N_y - довжина інтервалу керування (кінцеве чи нескінченне число кроків дискретизації часу складових даного інтервалу).

Множина дискретних значень часу $N_n \overset{\Delta}{=} \{n, n+1,\ldots,n+N\}$ утворює ковзний інтервал прогнозування. Тут n - довільний (поточний) момент дискретного часу інтервалу керування $0 \subseteq n \subseteq N_y$, а N - довжина ковзного прогнозування, тобто число кроків дискретного часу, на які здійснюється прогнозування руху об'єкта і зовнішніх впливів, що діють на нього (рис.2).

Множина дискретних значень часу $N_0 \overset{\Delta}{=} \{n, n+1,\ldots,n+N_0\}$ утворює інтервал оптимізації. N_0 - довжина інтервалу, тобто число кроків дискретного часу, на яких здійснюється оптимізація прогнозів.

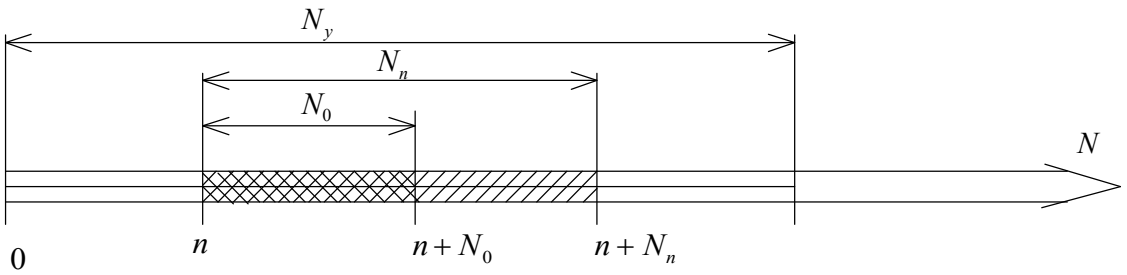

Рис.2. Множина дискретних значень часу оптимізації прогнозів.

У загальному випадку довжини цих інтервалів задовольняють наступному відношенню порядку: $N_0 \subseteq N \subseteq N_y$.

Розглядається задача керування об'єктом, що має r - мірний вектор керування $\bar{u}$ й у кожний поточний момент дискретного часу n характеризується m - мірним вектором стану $\bar{x}$, який вимірюється.

Узагальнений показник якості функціонування об'єкта Ф в загальному випадку визначається характером зміни фактичного вектора стану об'єкта $\bar{x}_n$ і керування $\bar{u}_n$ на всьому інтервалі керування N_y і являє собою функціонал: $\Phi = \Phi\left[\bar{x}_n, \bar{u}_n\right]_{n=0}^{n=N_y}$. Задача керування об'єктом полягає в тому, щоб володіючи зазначеною вище інформацією про об'єкт на кожному поточному n знайти таку послідовність керуючих впливів $\bar{u}_n$, що мінімізує (максимізує) критерій оптимальності.

У всіх фізично здійсненних процесах вплив, прикладений до об'єкта в поточний момент часу, може змінити лише його майбутні стани. Для

оптимального керування об'єктом необхідно в кожний поточний момент враховувати реакцію об'єкта і дію зовнішніх збурень на всьому майбутньому інтервалі керування. У теорії оптимального керування ця обставина знаходить своє математичне вираження в тому, що рівняння руху об'єкта визначене на всьому інтервалі керування ($N = N_y$) і мінімум функціонала Ф для об'єктів без наслідку (які володіють марківською властивістю) досягається за допомогою керування, яке мінімізує в кожний поточний момент "частину, що залишилася": $\Phi = \Phi\left[\overline{x}_i, \overline{u}_i\right]_n^{N_y}$ (принцип оптимальності Беллмана). Послідовне застосування цієї ідеї до зазначеного вище випадку об'єкта з неповною інформацією, приводить до алгоритму керування з оптимізацією прогнозу на ковзному інтервалі.

Цей алгоритм керування полягає в побудові на кожному поточному n послідовностей майбутніх значень керуючих впливів $\overline{v}_K^0$, що оптимізують прогнозоване значення критерію якості Ф на інтервалі прогнозування. Перші члени цих послідовностей утворять в загальному випадку іншу послідовність керуючих впливів, що реалізується на об'єкті (рис.3).

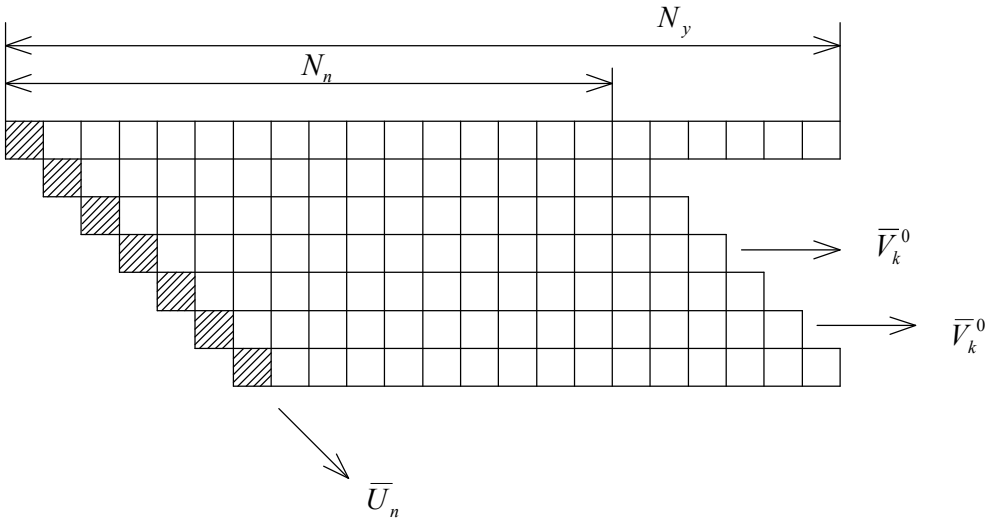

Рис.3. Послідовність керуючих впливів, що реалізується на об'єкті.

Характерною для цих задач обставиною є те, що поява ковзного інтервалу оптимізації обумовлена обмеженим знанням майбутніх значень впливу, що задає визначений оптимізований функціонал. До таких же задач ми приходимо і при обмеженому знанні збурюючого впливу. Таким чином, дослідження систем керування з оптимізацією на ковзному інтервалі становить безсумнівний інтерес для ряду практично важливих задач керування.

Другий розділ присвячений рішенню задач керування дискретними процесами з оптимізацією на ковзному інтервалі.

Об'єкт характеризується в кожний теперішній момент часу n вектором стану $\bar{x}_n$ і вектором управління $\bar{u}_n$. На кожному поточному n задане рівняння прогнозування $\bar{y}_{K+1} = A_K \bar{y}_K + B_K \bar{v}_K + W_K \bar{\omega}_{\mathrm{K}}, \qquad n \le K \le n+N$ за початкових умов $\bar{y}_{K=n} = \bar{x}_n, \qquad 0 \le n \le N_y$. Необхідно мінімізувати значення критерію якості на всіх майбутніх станах об'єкту, доступних для прогнозування: $\Phi(\bar{v}_K) = \frac{1}{2}\sum_{K=n}^{n+N}\left[(\bar{y}_{3K} - \bar{y}_K)^T Q_K (\bar{y}_{3K} - \bar{y}_K) + (\bar{v}_{3K} - \bar{v}_K)^T R_K (\bar{v}_{3K} - \bar{v}_K)\right]$.

Система управлінь: $\begin{cases} \bar{y}^0_{K+1} = A_K \bar{y}^0_K + B_K \bar{v}^0_K + W_K \bar{\omega}_{\mathrm{K}} \\ \bar{\Psi}^0_{K-1} = -Q_K \bar{y}^0_K + A_K^T \bar{\Psi}^0_K + Q_K \bar{y}_{3K} \\ \bar{v}^0_K = \bar{v}_{3K} + R_K^{-1} B_K^T \bar{\Psi}^0_K \end{cases}$.

Пошук безумовного мінімуму функції Лагранжа:

$$L \overset{\Delta}{=} \sum_{K=n}^{n+N} [\frac{1}{2}(\bar{y}_{3K} - \bar{y}_K)^T Q_K (\bar{y}_{3K} - \bar{y}_K) + \frac{1}{2}(\bar{v}_{3K} - \bar{v}_K)^T R_K (\bar{v}_{3K} - \bar{v}_K) + \bar{\lambda}^{\mathrm{T}}_{\mathrm{K}} (y_{K+1} -$$

$$- A_K \bar{y}_K - B_K \bar{v}_K - W_K \bar{\omega}_{\mathrm{K}})]$$

по 2(N+1) змінним $\bar{y}_K \quad ma \quad \bar{v}_K$. Необхідна і достатня умова її мінімуму:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial}{\partial \bar{y}_K} L = \bar{\lambda}_{\mathrm{K\text{-}1}} - Q_K (\bar{y}_{3K} - \bar{y}_K) - A_K^T \bar{\lambda}_{\mathrm{K}} = \bar{0} \\ \dfrac{\partial}{\partial \bar{v}_K} L = -R_K (\bar{v}_{3K} - \bar{v}_K) - B_K^T \bar{\lambda}_{\mathrm{K}} = \bar{0}. \end{cases}$$

Дискретний аналог принципу максимуму Понтрягіна є необхідною і достатньою умовою мінімуму квадратичного функціонала. Ця система еквівалентна системі

$$\begin{Vmatrix} E & 0 \\ -Q_{K+1} & A_{K+1}^T \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} \bar{y}^0_{K+1} \\ \bar{\Psi}^0_{K+1} \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} A_K & P_K \\ 0 & E \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} \bar{y}^0_{K+1} \\ \bar{\Psi}^0_{K+1} \end{Vmatrix} + \begin{Vmatrix} B_K \bar{v}_{3K} + W_K \bar{\omega}_{\mathrm{K}} \\ -Q_{K+1} \bar{y}_{3K+1} \end{Vmatrix},$$

тому що детермінант $\begin{vmatrix} E & 0 \\ -Q_{K+1} & A_{K+1}^T \end{vmatrix} \equiv |A_{K+1}|$, та умова $|A_K| \ne 0, \qquad \forall K \in N_n$ є необхідними і достатніми для того, щоб існувала зворотна матриця

$$\begin{Vmatrix} E & 0 \\ -Q_{K+1} & A_{K+1} \end{Vmatrix} \equiv \begin{Vmatrix} E & 0 \\ (A_K^T)^{-1} Q_{K+1} & (A_K^T)^{-1} \end{Vmatrix}.$$

Еквівалентна система рівнянь в прямих різницях:

$$\begin{Vmatrix} \bar{y}^0_{K+1} \\ \bar{\Psi}^0_{K+1} \end{Vmatrix} = L_K \begin{Vmatrix} \bar{y}^0_K \\ \bar{\Psi}^0_K \end{Vmatrix} + L_K^* \begin{Vmatrix} B_K \bar{v}_{3K} + W_K \bar{\omega}_{\mathrm{K}} \\ \bar{\mathrm{y}}_{3\mathrm{K}+1} \end{Vmatrix}, \text{ де } \quad L_K \overset{\Delta}{=} \begin{Vmatrix} A_K & P_K \\ (A_{K+1}^T)^{-1} Q_{K+1} & (A_{K+1}^T)^{-1} (Q_{K+1} P_K + E) \end{Vmatrix}$$

$$L_K^* \overset{\Delta}{=} \begin{Vmatrix} E & 0 \\ (A_{K+1}^T)^{-1} Q_{K+1} & -(A_{K+1}^T)^{-1} Q_{K+1} \end{Vmatrix}.$$

Рішення системи рівнянь на всьому ковзному інтервалі від n до n+N, представлене у вигляді:

$$\left\|\begin{matrix}\bar{y}_K^0\\ \bar{\Psi}_K^0\end{matrix}\right\| = \varphi(K,n)\left\|\begin{matrix}\bar{y}_K^0\\ \bar{\Psi}_K^0\end{matrix}\right\| + \sum_{i=n}^{K-1}\varphi(K,i+1)L_i^*\left\|\begin{matrix}B_i\bar{v}_i + W_i\bar{\omega}_i\\ \bar{y}_{3i+1}\end{matrix}\right\|,\ \text{де}\ \varphi(K,n) \overset{\Delta}{=} \left\|\begin{matrix}\varphi_{11}(K,n) & \varphi_{12}(K,n)\\ \varphi_{21}(K,n) & \varphi_{22}(K,n)\end{matrix}\right\| - (2m\times 2m).$$

Прогноз оптимальної послідовності вектора стану $\bar{y}_K^0$ на ковзному інтервалі оптимізації:

$$\bar{y}_K^0 = (\varphi_{11}(K,n) - \varphi_{12}(K,n)K_n(N))\bar{x}_n + (\varphi_{12}(K,n)\bar{P}_n(N) + \bar{Y}(K,n)),$$

$$\bar{Y}(K,n) \overset{\Delta}{=} \sum_{i=n}^{K-1}[\varphi_{11}(K,i+1)(B_i\bar{v}_{3i} + W_i\bar{\omega}_i) + \varphi_{12}(K,i+1)(A_{i+1}^T)^{-1}Q_{i+1}(B_i\bar{v}_{3i} + W_i\bar{\omega}_i - \bar{y}_{3i+1})].$$

Прогноз оптимальної послідовності вектора управління на ковзному інтервалі оптимізації:

$$\bar{v}_K^0 = \bar{v}_{3K} - R_K^{-1}B_K^T(\varphi_{22}(K,n)K_n(N) + \varphi_{21}(K,n))\bar{x}_n + R_K^{-1}B_K^T(\varphi_{22}(K,n)\bar{P}_n(N) + \bar{\Psi}(K,n)).$$

Шуканий поточний управляючий вплив:

$$\bar{u}_n = \bar{v}_{3n} - R_n^{-1}B_n^T K_n(N)\bar{x}_n + R_n^{-1}B_n^T\bar{P}_n(N,\bar{\omega},\bar{y}_3,\bar{v}_3).$$

Таким чином, управління, здійснюване за принципом оптимізації прогнозу майбутніх значень функціонала, еквівалентно відзначеному вище лінійному закону управління з негативним зворотним зв'язком і змінними в часі коефіцієнтами, що залежать, також, від числа тактів N інтервалу оптимізації. Знаючи управління, реалізоване на об'єкті в кожний теперішній момент часу n, отримано рівняння руху замкнутої системи:

$$\bar{x}_{n+1} = A_n\bar{x}_n + B_n\bar{u}_n(\bar{x}_n, N) + W_n\bar{\omega}_n, \text{ або}$$

$$\bar{x}_{n+1} = A_{3n}(N)\bar{x}_n + B_n\bar{v}_{3n} + W_n\bar{\omega}_n + P_n\bar{P}_n(N,\bar{\omega},\bar{y}_3,\bar{v}_3),$$

де $A_{3n}(N) \overset{\Delta}{=} [A_n - P_nK_n(N)]$ є матрицею параметрів замкнутого контуру. Траєкторія руху замкнутої системи від початкового стану $\bar{x}_0$ до поточного $\bar{x}_n$: $\bar{x}_n = F(n,0)\bar{x}_0 + \sum_{j=0}^{n-1}F(n,j+1)P_j\bar{P}_j(N,\bar{\omega},\bar{y}_3,\bar{v}_3)$, $\quad F(n,p) \overset{\Delta}{=} \begin{cases}\prod_{l=p}^{n-1}(A_l - p_lK_l(N) & \text{при } n > p\\ E & n = p\end{cases}$.

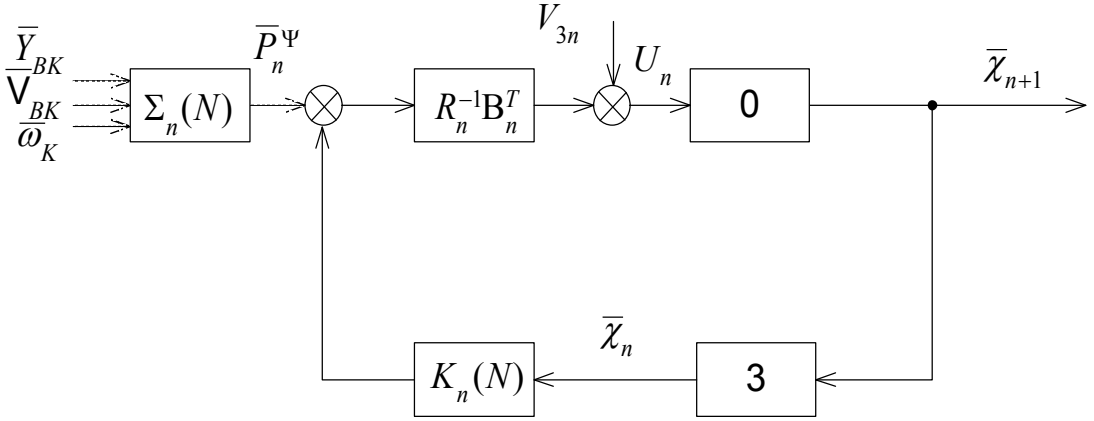

Рис.4. Структурна схема замкнутої системи, еквівалентної управлінню з оптимізацією прогнозу на ковзному інтервалі.

На рисунку 4 наведена структурна схема замкнутої системи, що еквівалентна управлінню з оптимізацією прогнозу на ковзному інтервалі. Рівняння руху замкнутої системи має той же порядок, що і рівняння руху об'єкту, так що управління з оптимізацією прогнозу, при прийнятих допущеннях, еквівалентно введенню лінійного жорсткого зворотного зв'язку. Властивості замкнутого контуру визначаються матрицею параметрів замкнутої системи: $A_{3n}(N) \overset{\Delta}{=} A_n - P_n K_n(N), \quad \forall n \in N_y$, що залежить від довжини інтервалу оптимізації N. Ця залежність обумовлена наявністю матриці коефіцієнтів $K_n(N)$, що однозначно визначається фундаментальною матрицею рішень $\varphi(n+N,n)$.

На замкнутий контур діє сигнал з прогнозованими значеннями усереднювання з певною вагою на всьому ковзному інтервалі оптимізації. Рівняння руху замкнутої системи:

$$\vec{x}_{n+1} = \left(E + P_n \Gamma_n\right)^{-1}\left(A_n \vec{x}_n + B_n \vec{V}_{3n} + W_n \vec{\omega}_n + P_n \vec{d}_n\right)$$

Закон оптимального управління

$$\vec{U}_n = \vec{V}_{3n} + R_n^{-1} B_n^T \Gamma_n \vec{x}_{n+1} + R_n^{-1} B_n^T \vec{d}_n \equiv$$

$$\equiv \vec{V}_{3n} + R_n^{-1} B_n^T \left[\vec{d}_n - \Gamma_n \left(E + P_n \Gamma_n\right)^{-1}\left(A_n \vec{x}_n + B_n \vec{V}_{3n} + W_n \vec{\omega}_n + P_n \vec{d}_n\right)\right].$$

При управлінні дискретними процесами, моделі передбачення яких інваріантні в часі, прогноз оптимальної послідовності вектора стану $\vec{y}_k^{\circ}$ на ковзному інтервалі оптимізації:

$$\vec{y}_k^{\circ} = -\left[\varphi_{12}(k-n)K(N) - \varphi_{11}(k-n)\right]\vec{x}_n + \left(\varphi_{12}(k-n)\vec{P}_n(N) + \vec{Y}(k-n)\right),$$

де $\vec{\Psi}(k-n) \hat{\equiv} \sum_{i=n}^{k-1} \varphi_{21}(k-i-1)\left(B\vec{V}_{3i} + W\vec{\omega}_i\right) + \varphi_{22}(n-i-1)\left(A^T\right)^{-1} Q\left(B\vec{V}_{3i} + W\vec{\omega}_i - \vec{y}_{3i+1}\right).$

Прогноз оптимальної послідовності вектора управління на ковзному інтервалі оптимізації:

$$\vec{V}_k^{\circ} = \vec{V}_{3k} - R^{-1}B^T\left(\varphi_{22}(k-n)K(N) - \varphi_{21}(k-n)\right)\vec{x}_n + R^{-1}B^T\left(\varphi_{22}(k-n)\vec{P}_n(N) + \vec{\Psi}(k-n)\right).$$

Шуканий поточний управляючий вплив:

$$\vec{U}_n = \vec{V}_{3n} - R^{-1}B^T K(N)\vec{x}_n + R^{-1}B^T \vec{P}_n\left(N, \vec{\omega}, \vec{y}_3, \vec{V}_3\right).$$

Управління руху системи, що замикається через оптимізацію прогнозу на ковзному інтервалі постійної довжини у N тактів:

$\vec{x}_{n+1} = A_3(N)\vec{x}_n + B\vec{V}_{3n} + W\vec{\omega}_n + P\vec{p}_n\left(N, \vec{\omega}, \vec{y}_3, \vec{V}_3\right)$, де $A_3(N) \hat{\equiv} F - PK(N)$ є матрицею параметра замкнутого контуру. Траєкторія руху замкнутої системи $\vec{x}_n = F(n)\vec{x}_0 + \sum_{j=0}^{n-1} F(n-j-1)P\vec{p}_j(j+N-1)$, де фундаментальна матриця рівняння руху замкнутої системи $F(V) \hat{\equiv} \left[A - PK(N)\right]^V, 0 \le V \le n.$

Основна особливість систем з оптимізацією на ковзному інтервалі постійної кінцевої довжини при постійних значеннях параметрів моделі

об'єкту і функціонала полягає в тому, що одержувана при цьому замкнута система управління має параметри, інваріантні в часі, що залежать тільки від довжини інтервалу оптимізації N, на відміну від випадку, коли кінцевий інтервал оптимізації має фіксований в часі кінець. Рух замкнутої системи описується лінійним різницевим рівнянням з постійними коефіцієнтами, що залежать від кількості тактів інтервалу оптимізації. Рівняння руху замкнутої системи: $x_{n+1} = a_з(\mathrm{N})x_n$, де

$$a_з(\mathrm{N}) \equiv \mathrm{a} + \frac{\mathrm{pq(Z-a)(1-Z^{2N})}}{pq + (\mathrm{Z-a})^2 \mathrm{Z}^{2\mathrm{N}}}, \quad a_з(\mathrm{N}) \equiv \mathrm{a} + \frac{\mathrm{pq(Z-a)(1-Z^{2N})}}{pq + (\mathrm{Z-a})^2 \mathrm{Z}^{2\mathrm{N}}} \equiv Z\frac{\mathrm{pq} + (\mathrm{Z-a})^2 \mathrm{Z}^{2(\mathrm{N-1})}}{pq + (\mathrm{Z-a})^2 \mathrm{Z}^{2\mathrm{N}}}.$$

При управлінні з оптимізацією прогнозу на два такти вперед замкнута система здобуває нову властивість: за рахунок вибору фіксованих значень q і r можна зробити стійкість системи інваріантною щодо постійної часу об'єкту.

В результаті проведених досліджень поставлено і отримано рішення задачі синтезу управління з урахуванням довжини ковзного інтервалу оптимізації для класу дискретних лінійних багатовимірних об'єктів при квадратичному критерії якості. Отримано рівняння руху замкнутої багатовимірної дискретної системи в загальному нестаціонарному випадку, що враховує довжину інтервалу оптимізації і встановлені їх основні властивості. Запропонований рекурентний алгоритм синтезу управління з ковзним інтервалом оптимізації, який застосований для знаходження руху замкнутої системи при малому числі N. Досліджено залежність динамічних властивостей систем управління і їх стійкість від довжини інтервалу оптимізації для дискретних багатовимірних об'єктів, параметри яких інваріантні в часі. Докладно досліджений вплив довжини ковзного інтервалу оптимізації на стійкість одновимірних дискретних систем управління.

Третій розділ присвячений управлінню безперервними процесами з оптимізацією на ковзному інтервалі. Рівняння прогнозування $\bar{y}'(\tau) = A(\tau)\bar{y}(\tau) + B(\tau)\bar{V}(\tau) + W(\tau)\bar{\omega}(\tau), \quad \forall\tau \in [t, t+T]$. Критерій якості визначається на множині $\mathrm{Zt}_{(\mathrm{T})}$ і є інтервалом з ковзними межами інтегрування

$$\Phi[V(\tau)] = \frac{1}{2}\int_t^{t+T} [(\bar{y}_з(\tau) - \bar{y}(\tau))^T Q(\tau)(\bar{y}_з(\tau) - \bar{y}(\tau)) + (\bar{V}_з(\tau) - \bar{V}(\tau))^T \times R(\bar{V}_з(\tau) - \bar{V}(\tau))]d\tau$$

де $Q(\tau) \geq 0$, $R(\tau) > 0$. Для рішення задачі синтезу необхідні і достатні умови мінімуму функціонала представлені у формі принципу максимуму Понтрягіна:

$$\begin{cases} \bar{y}^{\circ\prime}(\tau) = \dfrac{\partial}{\partial \bar{\Psi}^{\circ}(\tau)} H^{\circ}(\tau, \bar{y}^{\circ}, \bar{\Psi}^{\circ}, \bar{V}^{\circ}) \\ \bar{\Psi}^{\circ\prime}(\tau) = -\dfrac{\partial}{\partial \bar{y}^{\circ}(\tau)} H^{\circ}(\tau, \bar{y}^{\circ}, \bar{\Psi}^{\circ}, \bar{V}^{\circ}) \\ \dfrac{\partial}{\partial \bar{V}^{\circ}(\tau)} H^{\circ}(\tau, \bar{y}^{\circ}, \bar{\Psi}^{\circ}, \bar{V}^{\circ}) = \bar{0} \end{cases} \quad \begin{cases} \bar{y}^{\circ}(\tau)\big|_{\tau = t} = \bar{x}(t) \\ \bar{\Psi}^{\circ}(\tau)\big|_{\tau = t+T} = \bar{0} \end{cases},$$

де функція Гамільтона має вигляд

$$H(\tau,\bar{y},\bar{\Psi},\bar{V}) \equiv \bar{\Psi}^T(A(\tau)\bar{y}(\tau)+B(\tau)\bar{V}(\tau)+W(\tau)\bar{\omega}(\tau)) - \frac{1}{2}[(\bar{y}_з(\tau)-\bar{y}(\tau))^T \times$$

$$\times Q(\tau)((\bar{y}_з(\tau)-\bar{y}(\tau))+((\bar{V}_з(\tau)-\bar{V}(\tau))^T R(\tau)((\bar{V}_з(\tau)-\bar{V}(\tau))].$$

Прогноз оптимального вектора стану на всьому ковзному інтервалі оптимізації:

$$\bar{y}^{\circ}(\tau) = (\varphi_{11}(\tau,t) - \varphi_{12}(\tau,t)K(\tau,T))\bar{x}(t) + (\varphi_{12}(\tau,t)\bar{d}(t,T) + \bar{Y}(\tau,t)), \quad \text{де}$$

$$\bar{Y}(\tau,t) = \int_t^{\tau} [\varphi_{21}(\tau,\xi)(B(\xi)\bar{V}_з(\xi) + W(\xi)\bar{\omega}(\xi)) - \varphi_{22}(\tau,\xi)Q(\xi)\bar{y}_з(\xi)]\,d\xi\,.$$

Прогноз оптимального вектора управління на ковзному інтервалі оптимізації

$$\bar{V}^{\circ}(\tau) = \bar{V}_з(\tau) - R^{-1}(\tau)B^T(\tau)[\varphi_{22}(\tau,t)K(\tau,t) - \varphi_{21}(\tau,t)]\bar{x}(t) +$$

$$+ R^{-1}(\tau)B^T(\tau)(\varphi_{22}(\tau,t)\bar{d}(t,T) + \bar{\Psi}(\tau,t))\,.$$

Шуканий поточний управляючий вплив

$$\bar{U}(t) = \bar{V}_з(t) - R^{-1}(t)B^T(t)K(t,T)\bar{x}(t) + R^{-1}(t)B^T(t)\bar{d}(t,T,\bar{\omega},\bar{y}_з,\bar{V}_з).$$

Таким чином, як і в дискретному випадку, управління здійснюється за принципом оптимізації прогнозу майбутніх значень функціонала, еквівалентно, відзначеному вище лінійному закону управління з твердим негативним зворотним зв'язком і змінними в часі коефіцієнтами, що залежать також від довжини інтервалу оптимізації Т.

Рівняння руху замкнутої системи:

$$\dot{\bar{x}}(t) = A(t)\bar{x}(t) + B(t)\bar{U}(t,\bar{x},T) + W(t)\bar{\omega}(t)$$

Загальні властивості управління з оптимізацією прогнозу на ковзному інтервалі, встановлені для дискретних систем, залишаються в силі і для безперервних:

1. Рівняння руху замкнутої системи має той же порядок. що і рівняння руху об'єкту, а управління, при прийнятих припущеннях, еквівалентно введенню твердого зворотного зв'язку.
2. Властивість замкнутого контуру визначається матрицею параметрів замкнутої системи $\forall$ t $\in$ (0∞), T > 0 $A_з(T) = A(t) - P(t)K(t,T),$ що залежить від довжини інтервалу оптимізації Т.

3. На замкнутий контур діє сигнал, який є усередненими на всьому ковзному інтервалі з певною вагою прогнозами задаючих і збурюючих впливів.

При управлінні безперервними процесами, прогнозуючі моделі яких інваріантні в часі, прогноз оптимального вектора стану $\bar{y}^{\circ}(\tau)$ на ковзному інтервалі оптимізації $\bar{y}^{\circ}(\tau) = (\varphi_{11}(\tau - t) - \varphi_{12}(\tau - t)K(T))\bar{x}(t) + (\varphi_{12}(\tau - t)\bar{d}(t,T) + \bar{Y}(\tau,t)).$

де $\bar{Y}(\tau,t) = \int_{t}^{\tau}[\varphi_{11}(\tau - \xi)(B\bar{V}_{з}(\xi) + W\bar{\omega}(\xi))\varphi_{12}(\tau - \xi)Qy_{з}(\xi)]d\xi$.

Прогноз оптимального вектора управління на ковзному інтервалі оптимізації $\bar{V}^{\circ}(\tau) = \bar{V}_{з}(t) + R^{-1}B^{T}(\varphi_{22}(\tau - t)K(\tau) - \varphi_{21}(\tau - t))\bar{x}(t) + R^{-1}B^{T} \times$

$$\times(\varphi_{21}(\tau - t)d(t,T) + \bar{\Psi}(\tau,t).$$

Шукане поточне управління впливів

$$\bar{U}(t) = \bar{V}_{з}(t) - R^{-1}B^{T}K(T)\bar{x}(t) + R^{-1}B^{T}\bar{d}(t,T,\bar{\omega},\bar{y}_{з}\bar{V}_{з})$$

Рівняння руху системи на ковзному інтервалі прогнозування постійної довжини $\dot{\bar{x}}(t) = A_{з}(T)\bar{x}(t) + B\bar{V}_{з}(t) + W\bar{\omega}(t) + P\bar{d}(t,T,\bar{\omega},\bar{y}_{з},\bar{V}_{з})$.

Таким чином, поставлено і отримано рішення задачі синтезу управління з урахуванням довжини ковзного інтервалу оптимізації для класу безперервних лінійних багатовимірних об'єктів при квадратичному критерії якості. Отримано рівняння руху замкнутої багатовимірної системи в загальному нестаціонарному випадку, які враховують довжину інтервалу оптимізації і встановлені їх основні властивості. Досліджено залежність динамічних властивостей систем управління і їх стійкість від довжини інтервалу оптимізації для багатовимірних об'єктів, параметри яких інваріантні в часі. Докладно досліджений вплив довжини ковзного інтервалу оптимізації, а також параметрів об'єкту і функціоналу оптимізації на динамічні властивості і, зокрема, на стійкість одновимірних систем управління.

Четвертий розділ присвячений застосуванню оптимізації на ковзному інтервалі прогнозування до управління автоматизованими технологічними комплексами. Математично мету управління можна сформулювати у вигляді мінімізації критерію якості, що є сумою квадратичних форм, складених щодо помилки виконання плану по товарній продукції і невідповідність між допустимими і використаними матеріальними витратами:

$\Phi \overset{\Delta}{=} \frac{1}{2}\sum_{k=n}^{n+N}\left[q(\bar{y}_{зк} - y_{к})^2 + r(V_{зк} - V_{к})^2\right]$, де $y_{зк}$ – план товарної продукції, $y_{к}$ – прогноз товарної продукції, $V_{зк}$ – бажані мінімальні необхідні витрати на виконання плану товарної продукції, $V_{к}$ – прогноз матеріальних витрат необхідних для виконання прогнозованого плану

реалізації товарної продукції, q,r>0 – ваги функціонала при помилці і нев'язці відповідно.

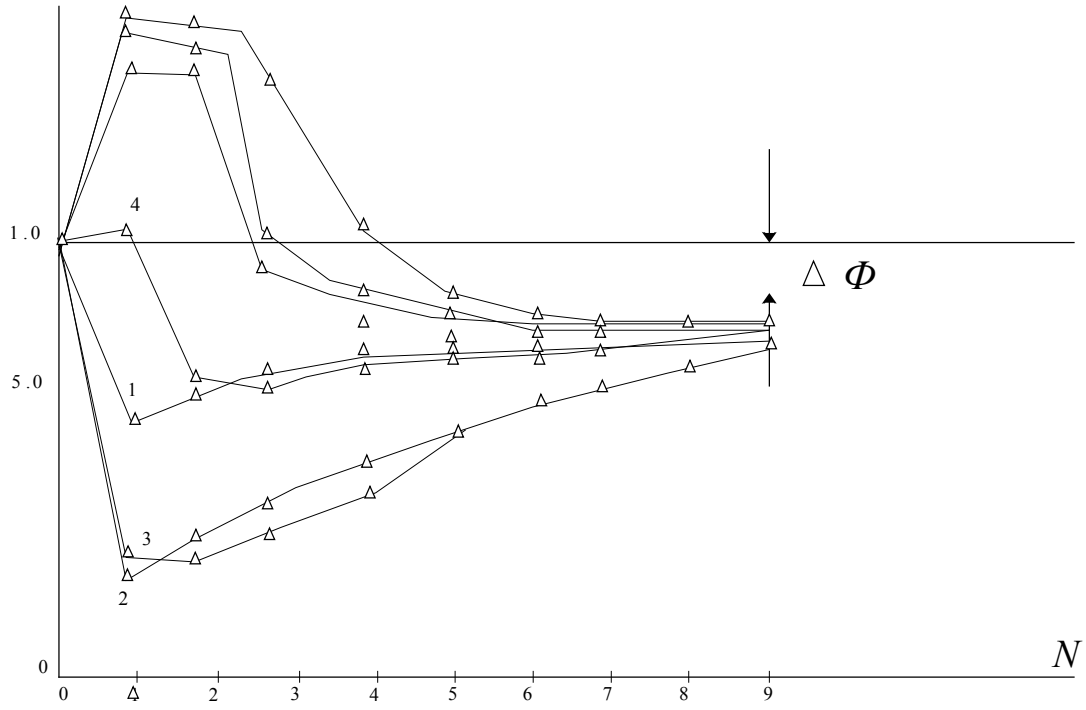

Рис.5. Нормовані значення якості при різних N.

У результаті дослідження залежності критерію якості Ф від функції числа тактів прогнозу N на рис.5 приведені нормовані значення якості при різних N. Параметром цих залежностей є n - число місяців, що пройшли з моменту початку керування з оптимізацією прогнозу. Зазначені на рис.6 значення критерію якості підраховувалися на вже досягнутих фактичних станах об'єкта по поточний стан включно. Значення критерію якості нормовані до його величини, підрахованої на реальних $\bar{x}$ до U, які були безпосередньо перед початком керування з оптимізацією прогнозу. Моделювання знайшло наступні особливості цієї залежності:

1. Різке розходження між собою значень критерію якості при малих n. Особливо сильно виявляється при малих N. Це явище обумовлене наявністю перехідного процесу в системі, викликаного включенням керування з оптимізацією прогнозу (замиканням системи при n=0). Як випливає з приведених на рис.6 залежностей, тривалість перехідного (пускового) процесу можна оцінити в 5-6 місяців.
2. Висока купчастість значень критерію якості отриманих при N=7,8,9 указує на сталий режим (щодо критерію якості), тобто такий режим, коли стан об'єкта в момент замикання системи $\bar{x}_{n=0}$ практично вже не

впливає на значення критерію, що досягається, якості, що при цьому визначається тільки значенням N.

3. Як було показано вище, залежність Ф(N) при n=7÷9 можна вважати сталою. Зі збільшенням досягнуте значення критерію якості Ф≈0,9 практично вже не змінюється.
4. Однією з таких загальних властивостей є зменшення в статиці значення критерію якості при збільшенні N. Та обставина, що нерівність Ф(N)<1 досягається лише при N>4 місяці, указує, що 5 місяців – це той мінімально необхідний термін для даного об'єкта в заданому режимі, на який варто робити оптимізацію прогнозу, для того щоб забезпечити якість керування більш високою, чим при колишньому способі керування. З іншої сторони збільшення інтервалу оптимізації прогнозу понад 7-8 місяців практично не поліпшує якості керування.

Таким чином, для цілей керування даним об'єктом у зазначеному режимі досить щоб модель галузі забезпечувала прогноз основних техніко-економічних показників на 7-8 місяців.

5. Аналіз залежності $\overline{\Phi}$ (N) для малих N: 1,2.3.4 указує на їхню повну непридатність при скільки-небудь тривалому часі керування. Дуже показовим є те, що в плині перших 3-4 місяців після замикання системи (n=1,2,3,4) якість керування оцінюється критерієм як дуже гарне. Однак при подальшому русі системи n>3 якість катастрофічно погіршується (Ф>>1). Пояснюється це, як буде показано далі, значною інерційністю об'єкта (1,2 місяці – є інтервал запізнювання між U і x^1) і «короткозорістю» стратегії керування й оптимізації прогнозу при малих N. Інерційність об'єкта і внутрішні запаси (обумовлені наявністю незавершеного виробництва, а також запасів на складах) забезпечують виконання на початку плану з мінімальними витратами. Матеріальні витрати заощаджуються надмірно, що дозволяє на самому початку інтервалу керування одержати значення критерію якості Ф<1. Однак, і це показує моделювання, довго така ситуація зберігатися не може і промислове об’єднання, вичерпавши свої ресурси, неухильно знижує обсяг реалізації товарної продукції.

Такий результат «короткозорої оптимізації» обумовлений занадто малим інтервалом прогнозування.

Результати проведеного моделювання керування автоматизованими технологічними комплексами промислового об’єднання (рис.6 і рис.7) цілком погодяться з висновками проведених теоретичних досліджень даної роботи і показують ефективний спосіб використання прогнозів, одержуваних за допомогою простих лінійних динамічних моделей для цілей керування складними об'єктами, такими, як автоматизований технологічний комплекс та ділянка дифузії цукрового заводу.

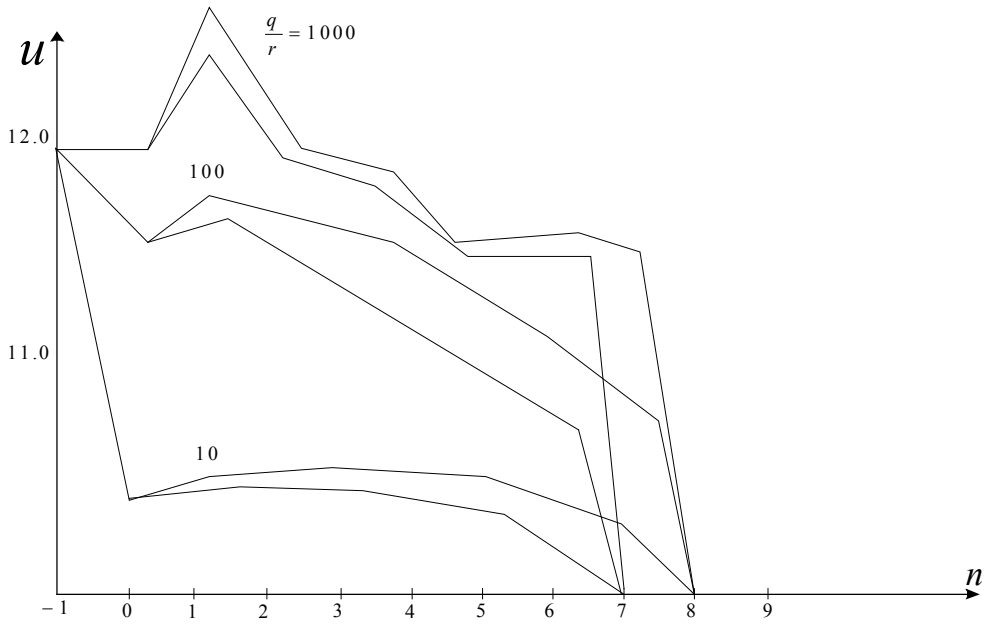

Рис.6. Вплив щодо ваги $k \stackrel{\Delta}{=} \frac{q}{r}$ при значеннях 10,0 і 1000 на прогнози оптимальних послідовностей $y_к$ і $V_к$.

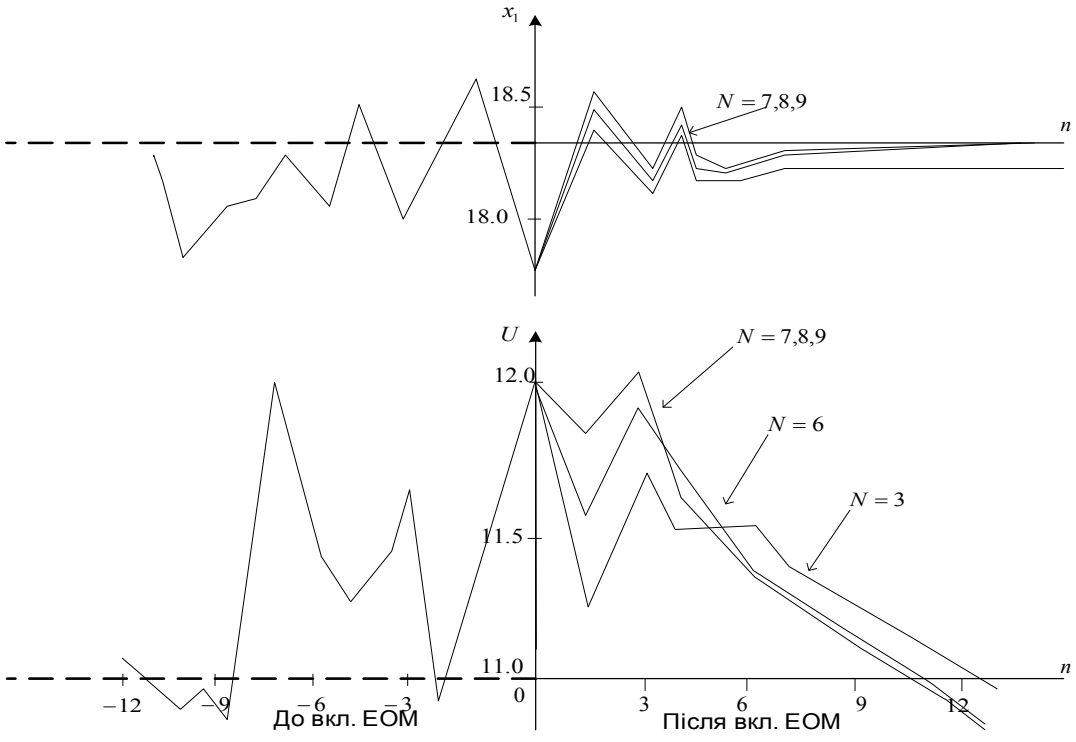

Рис.7. Зміни у характері процесів в результаті замикання об'єкта через алгоритм оптимізації прогнозу.

ВИСНОВКИ.

1. Сформульована задача синтезу систем управління з ковзним інтервалом оптимізації і отримане її рішення з урахуванням довжини ковзного інтервалу як для дискретних, так і для безупинних лінійних багатовимірних об'єктів при квадратичному критерії якості.
2. Розроблений і досліджений аналітично, методом цифрового моделювання і практично алгоритм управління, що реалізує отримане рішення.
3. Отримано рівняння руху замкнутої багатовимірної системи в загальному нестаціонарному випадку з урахуванням довжини ковзного інтервалу оптимізації і проведене її дослідження для дискретних і безупинних процесів.
4. Досліджено залежність динамічних властивостей синтезованих систем управління і їх стійкість від довжини інтервалу оптимізації як для дискретних, так і для безупинних багатовимірних об'єктів, параметри яких інваріантні в часі.
5. Досліджений вплив довжини ковзного інтервалу оптимізації, а також параметрів об'єкту і оптимізованого функціонала на динамічні властивості і, зокрема, на стійкість одновимірних дискретних і безупинних систем управління.
6. Результати теоретичного дослідження перевірені на прикладі цифрового моделювання процесів управління автоматизованими технологічними комплексами у галузі цукрової промисловості України.
7. На основі проведеного дослідження розроблене математичне забезпечення, алгоритм і програма мовою Borland Pascal 7.0 для практичного використовування при рішенні задач оптимізації управління складними об'єктами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА

1. Войтов О.А. Керування дискретними процесами з інваріантними моментами прогнозування. // Міжнар. наук.-техн. журнал „Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах”. – Хмельницький, 2003. – №2, с.199-201.
2. Войтов О.А. Рішення двокрапкової крайової задачі методом факторизації для нестаціонарного об’єкта управління. // Збірник наук. праць „Комп’ютерні технології друкарства”–Львів, 2003.– №10.-с.45-47.
3. Войтов О.А. Исследование динамики замкнутых систем со скользящим интервалом оптимизации. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2003. - №5, с. 41-44.

4. Войтов О.А. Дискретне управління технологічними процесами з інваріантними моментами прогнозування. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук, 2003. - №3(20). - с.116-117.
5. Войтов О.А. Исследование динамики систем управления со скользящим интервалом оптимизации. // Вісник технологічного університету „Поділля”. – Хмельницький, 2003. - №3. - т.2, с.201-206.
6. Ushakov E., Vojtov O. Control with optimization on sliding interval by continuous processes. // Proceedings of the 6th International Conference TCSET’2004. - Lviv, 2004.
7. Войтов О.А. Анализ и синтез систем управления со скользящим интервалом оптимизации. // Материалы межд. научн.-техн. конф. „Автоматизация: проблемы, идеи, решения.” – Севастополь, 2003. – с.156-157.
8. Войтов О.А. Исследование замкнутых систем управления со скользящим интервалом оптимизации. // Материалы 12-й межд. научн. конф. „Прикладные задачи математики и механики”. – Севастополь, 2003. – с.238-245.
9. Войтов О.А. Исследование и синтез систем управления со скользящим интервалом оптимизации. // Материалы 10-й межд. научн.-техн. конф. „Автоматика-2003”. – Севастополь, 2003. – т.1, с.25-27.
10. Войтов О.А. Керування складними нестаціонарними об’єктами із змінним інтервалом оптимізації. // Матеріали 69-ї наук. конф. молодих вчених НУХТ „Розроблення, дослідження і створення продуктів функціонального харчування, обладнання та нових технологій для харчової і переробної промисловості”. – Київ, 2003, ч.2, с.134.
11. Войтов О.А. Керування дискретними процесами з інваріантними моментами прогнозування. // Збірник матеріалів конф. „Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах”. – Хмельницький, 2003. – с.23-24.

АНОТАЦІЇ

Войтов О.А. Дослідження та розробка систем управління технологічними процесами з неповною інформативністю. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація технологічних процесів. – Національний університет харчових технологій, Київ, 2004.

Сформульована задача синтезу систем управління з ковзним інтервалом оптимізації і отримане її рішення з урахуванням довжини ковзного інтервалу як для дискретних, так і для безупинних лінійних багатовимірних об'єктів при квадратичному критерії якості. Розроблений і досліджений аналітично, методом цифрового моделювання і практично алгоритм управління, що реалізує отримане рішення. Отримано рівняння руху замкнутої багатовимірної системи в загальному нестаціонарному випадку з урахуванням довжини ковзного інтервалу оптимізації і проведене її дослідження для дискретних і безупинних процесів. Досліджено залежність динамічних властивостей синтезованих систем управління і їх стійкість від довжини інтервалу оптимізації як для дискретних, так і для безупинних багатовимірних об'єктів, параметри яких інваріантні в часі. Досліджений вплив довжини ковзного інтервалу оптимізації, а також параметрів об'єкту і оптимізованого функціонала на динамічні властивості і, зокрема, на стійкість одновимірних дискретних і безупинних систем управління.

Ключові слова: математичне моделювання, ковзний інтервал, оптимізація, автоматичне управління.

Войтов О.А. Исследование и разработка систем управления технологическими процессами с неполной информативностью. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация технологических процессов. – Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2004.

Сформулирована задача синтеза систем управления со скользящим интервалом оптимизации и получено ее решение с учетом длины скользящего интервала, как для дискретных, так и для непрерывных линейных многомерных объектов при квадратичном критерии качества. Разработан и исследован аналитически, методом цифрового моделирования и практически алгоритм управления, реализующий полученное решение. Получено уравнение движения замкнутой многомерной системы в общем, нестационарном случае с учетом длины скользящего интервала оптимизации и проведено его исследование для дискретных и непрерывных процессов. Исследована зависимость динамических свойств синтезированных систем управления и их устойчивость от длины интервала оптимизации для дискретных и

непрерывных многомерных объектов, параметры которых инвариантны во времени. Исследованное влияние длины скользящего интервала оптимизации, а также параметров объекта и оптимизирующего функционала на динамические свойства и, в частности, на устойчивость одномерных дискретных и непрерывных систем управления.

Ключевые слова: математическое моделирование, скользящий интервал, оптимизация, автоматическое управление.

Voytov O.A. Research and development of the systems of technological process control with the incomplete informing. – Manuscript.

Dissertation on competition of scientific degree of candidate of engineering sciences on speciality 05.13.07 – automation of technological processes. – The National university of food technologies, Kiev, 2004.

The task of synthesis of the systems of management is formulated with the sliding interval of optimization and its decision is got taking into account length of sliding interval both for discrete, and for continuous linear multidimensional objects at the quadratic criterion of quality. It is developed and explored analytically, by the method of digital design and practically algorithm of management, realizing the got decision. Equalization of motion of the closed multidimensional system is got in the general unstationary case taking into account length of sliding interval of optimization and his research is conducted for discrete and continuous processes. Dependence of dynamic properties of the synthesized systems of management and their stability on length of interval of optimization for discrete and continuous multidimensional objects the parameters of which are invariant in time is explored. The explored influencing of length of sliding interval of optimization, and also parameters of object and optimizing functional on dynamic properties and, in particular, on stability of the one-dimensional discrete and continuous systems of control.

Keywords: mathematical design, sliding interval, optimization, automatic control.