

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ КІНЦЕВИМ СТАНОМ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Розглянуто методи управління кінцевим станом для об'єктів класів «транспортні засоби» і «процеси виробництва». Подано аналіз класичних і нових задач термінального управління: від причалювання кораблів в порту до управління системами проектів для процесу побудови корабля – задачі оптимального управління процесами виробництва і розвитку. В даній статті подано перший крок для систем термінального управління системами проектів – синтез і дослідження класичної задачі причалювання, варіаційної задачі управління кінцевим станом "по вищій похідній". Розроблено математичні моделі і програмне забезпечення, яке має модулі для настроювання параметрів математичної моделі, модулі введення даних і аналізу результатів моделювання.

Ключові слова: управління кінцевим станом, варіаційна задача, термінальне управління, управління по вищій похідній.

Abstract

Methods of final state control for objects of classes "vehicles" and "production processes" are considered. An analysis of the classic and new tasks of terminal control: from the mooring of ships in the port to the control of project systems for the process of building a ship - the task of optimal control of production and development. This article presents the first step for terminal control systems of project systems - the synthesis and study of the classical mooring problem, the variational problem of final state control "on the highest derivative". Mathematical models and software have been developed, which has modules for adjusting the parameters of the mathematical model, modules for data entry and analysis of simulation results.

Keywords: final state control, variational problem, terminal control, higher derivative control.

Вступ

Сьогодні стійко розвиваються напрями: «цифровий інжиніринг», «безпілотні системи управління», «цифрові копії об'єкта». Зростає ефективність процесів і засобів виробництва, системи контролю і управління реалізуються в комп'ютерах. Сучасні системи управління комп'ютерно-інтегровані. Прикладом створення саме комп'ютерно-інтегрованої математики були роботи Р. Беллмана [4]. В даній роботі подано рішення задач оптимального управління кінцевим станом. Крім звичних задач управління поточним станом - регулювання температури, рівня, напруги, висоти польоту існує багато задач управління кінцевим станом. Це задача стрільби, задача зупинки транспортного засобу в потрібній точці, задача стиковки космічних кораблів, задачі, що виконують підйомні крани, роботи-маніпулятори та ін. Особливість таких задач, на відміну від задач управління поточним станом, в тому, що треба забезпечити досягнення саме потрібного кінцевого стану. В кожен момент часу управління повинно обчислюватись із умови досягнення саме кінцевого стану. Траєкторії руху до кінцевого стану можуть бути різними. Задача виду "за час T перевести об'єкт з точки X_0 фазового простору в точку X_k " називається задачею термінального управління. Специфіка систем термінального управління в тому, що кінцеві помилки дорого коштують. Це «навали» (причал для кораблів), «наїзди» (для наземного транспорту), "козли" (в авіації) з відповідними наслідками, головне - кінцевий стан. Метою розробки є забезпечення задовільного управління при відхиленнях параметрів об'єкта, система повинна бути високонадійною.

Результати дослідження

Виконаємо аналіз класичних і нових задач термінального управління: від причалювання до управління системами проектів. Розглянемо класичну задачу термінального управління – задачу

причалювання морських суден, зокрема великих танкерів і контейнеровозів. Причалювання - складна, часто і небезпечна операція. Навіть при кінцевій швидкості 0.5 м/с інерція великого танкера настільки велика, що в результаті "навалу" деформується або причал, або корпус, або все разом. Задача ускладнюється тим, що треба в кінцевий момент забезпечити не тільки потрібні координати центра мас, але і кутове положення корпусу відносно причалу та ще й при малих допусках на відхилення траєкторії - в портах завжди тісно. Точність проведення корабля до причалу менше 1 м. Традиційно такі задачі виконувались лоцманами за допомогою декількох буксирів, але сьогодні кораблі мають спеціальні підрулюючі пристрої. Для вимірювання координат і швидкостей використовують надійні і високоточні лазерні вимірювачі. ЦОМ розраховує лінійні і кутові координати і швидкості, враховує наявність перешкод, в кожний момент часу обчислює для поточного стану траєкторію, що приведе корабель в потрібну точку з нульовими кінцевими швидкостями, а також і прискореннями (останнє гарантує м'який контакт з причалом навіть при збуреннях). При появі на курсі небажаних об'єктів система управління будує траєкторію переходу з урахуванням реальності.

Новою задачею термінального управління є процес побудови нового корабля у сучасному суднобудівному комплексі. Потрібно до заданого терміну на базі наявних технологій збирання побудувати і здати замовлений корабель на задану дату закінчення робіт. Це теж задача термінального управління вже для процесу, тільки для процесу побудови корабля. В рамках методів оптимального агрегування це задачі оптимального управління процесами виробництва і розвитку [1, 2]. В даній статті подано перший крок для систем термінального управління системами «виробництво, розвиток», а саме синтез і дослідження класичної задачі причалювання, варіаційної задачі управління кінцевим станом "по вищій похідній". Головне – система повинна бути високонадійною, а саме навіть при відхиленнях параметрів (незалежно від ймовірностей таких ситуацій, тому що в практиці все негативне, що може бути, завжди збувається) забезпечувати задовільне управління.

Головне завдання підсистеми "причалювання" - швидко, точно зупинити корабель біля причалу. З доступних альтернатив побудови САУ вибрано термінальне управління, задачу зближення, для дуже відповідальних випадків - задачу м'якого зближення [1, 3]. Одна з проблем реалізації задачі - точне вимірювання відстаней, швидкостей. Для системи причалювання потрібно контролювати дві координати - X та Y, швидкості та прискорення по цим координатам. Ці величини одночасно повинні дорівнювати нулю в точці причалювання. Канали управління цими координатами ідентичні, далі розглянуто тільки один канал. На рис. 1 подано функціональну схему термінальної системи для задачі причалювання. Зауважимо, що подано функціональні підсистеми і їх математична структура.

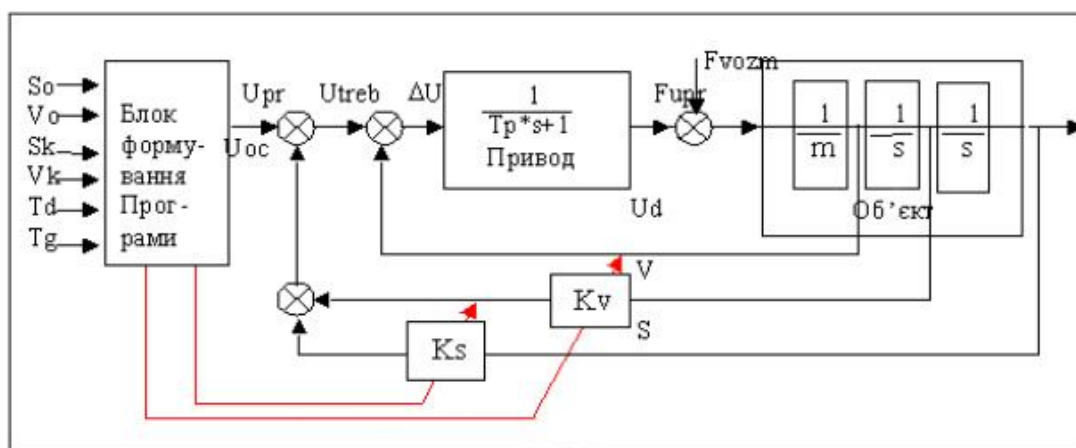


Рис. 1. Структурна схема термінальної САУ

Відомі такі альтернативні методи термінального управління: модифікації управління поточним станом; пряме розв'язання варіаційної задачі з локальним критерієм; метод спряжених функцій для варіаційної задачі Лагранжа; рішення на базі методу оптимального агрегування; метод управління по вищій похідній. Вибираємо останній, переваги якого - простота реалізації (в ЦОМ), нечутливість до різних збурень (робастність). Додатковий фактор - метод патентований і реально

використовується[3]. Цей метод забезпечує управління оптимальне за критерієм розходу енергії на управління - а саме це і потрібно в більшості задач, починаючи з економічних. Головна перевага вибраних методу і критерію оптимальності для нашої задачі в тому, що таке управління мінімізує і перевантаження і забезпечує нульову швидкість в кінці процесу навіть при відхиленнях параметрів САУ від номінальних (це завжди має місце - змінюється маса корабля).

Розробка математичної моделі програми для синтезу регулятора. Алгоритм процедури синтезу [1–3]термінального управління по вищій похідній такий:

Диференціальне рівняння об'єкта за рахунок компенсуючих зворотних зв'язків приводиться до стандартного виду.

$$\frac{d^n}{dt^n} x = F(U_{прСили}(Ud) - ЗбурСили). \quad (1)$$

Задаються m граничних умов згідно з вимогами задачі - зближення, розгону.

$$x1(Td) = x1k; \dots xl(Td) = xlk; \dots xm(Td) = xmk.$$

Бажана умова: дійсне управління дорівнює заданому

$$Ud(t) = Utreb(t).$$

Записується в параметричному виді закон управління з невідомими параметрами

$$Utreb_{n+1} := k0 + k1 * t_{n+1} + k2 * (t_{n+1})^2 + k3 * (t_{n+1})^3 + kv * v_n + ks * s_n. \quad (2)$$

Закон управління (2) підставляється у диференційне рівняння об'єкта (1). Диференційне рівняння об'єкта n разів інтегрується, значення координат вектора стану в момент закінчення переходу Td прирівнюються потрібним значенням – отримуємо систему рівнянь для визначення невідомих параметрів закону управління. Взятю із довідника [3] розрахункові формули для задачі: порядок об'єкта $n = 2$, число граничних умов $m = 2$. Вводимо параметри задачі: постійна часу приводу $Tr:=1$; задана тривалість процесу $Td:=100$; жорсткість управління $Tg=4$; кількість кроків моделювання: 100. Задані граничні умови: $s0=10$; $v0=1$; $sk=0$; $vk=0$. Жорсткість управління Tg вибирається за умов: 1) $Tg=(0.2-0.3)*Td$; 2) $Tg=(2-5)*Tr$.

Наступний крок – це розробка математичної моделі і програми моделювання САУ, дослідження САУ, вибір параметрів закону управління. На рис. 2 подано графіки перехідних процесів. Виводимо значення термінальних помилок. Біля графіка подані зони вводу. Можемо ввести прості, попередні дослідження системи: змінюємо параметри - дивимось наслідки.

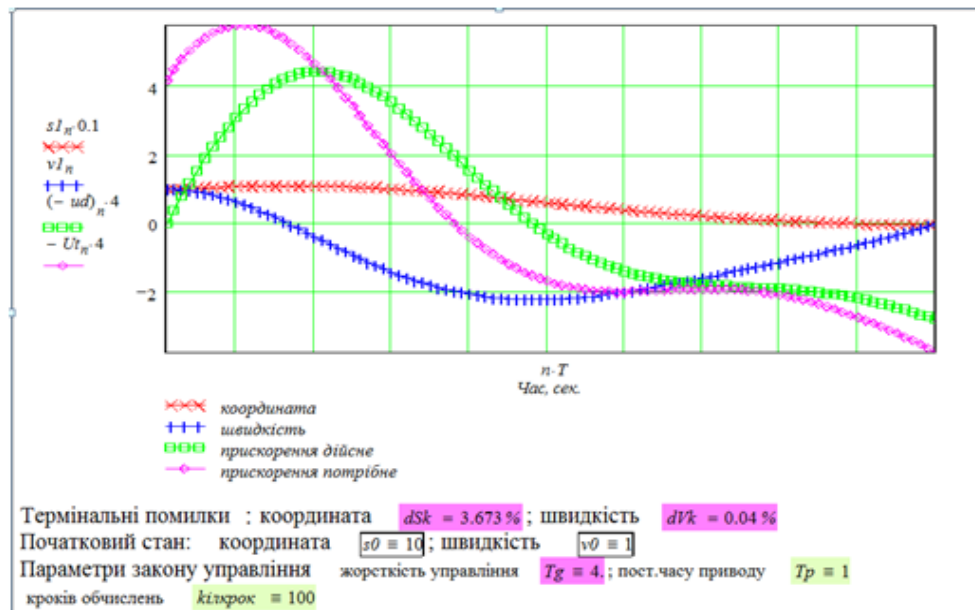


Рис.2 Тестування програм: процес переходу в кінцевий стан управління

Висновки

Розглянуто методи управління кінцевим станом для об'єктів класів «транспортні засоби» і «процеси виробництва». Подано аналіз класичних і нових задач термінального управління: від причалювання кораблів в порту до управління системами проектів для процесу побудови корабля – задачі оптимального управління процесами виробництва і розвитку. Подано перший крок для систем термінального управління системами проектів – синтез і дослідження класичної задачі причалювання, варіаційної задачі управління кінцевим станом "по вищій похідній". Розроблено математичні моделі і програмне забезпечення, яке має модулі для настроювання параметрів математичної моделі, модулі введення даних і аналізу результатів моделювання. Позитивна особливість моделі об'єкту – зручність до розуміння і можливість розробнику легко створювати нові варіанти об'єктів (літаки, автомашини, системи конвеєрів, спеціальний транспорт для збирання літаків) великих підсистем. Головним елементом новизни розробки є можливість модифікації певної базової моделі термінального управління для нового об'єкту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боровська Т. М. Моделювання та оптимізація систем автоматичного управління: навч. посіб. для студ. ВНЗ / Т. М. Боровська, А. С. Васюра, В. А. Северілов. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 132 с. – ISBN 978-966-641-319-5.
2. Боровська Т. М. Математичні моделі функціонування і розвитку виробничих систем на базі методології оптимального агрегування: монографія / Т. М. Боровська. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 308 с. – ISBN 978-966-641-731-5.
3. Батенко А. П. Управление конечным состоянием движущихся объектов. М., «Советское радио», 1977
4. R. Bellman, I. Glikhsberg, and O. Gross, Certain problems of mathematical control theory. Moscow, USSR: Publishing House of Foreign Literature, 1962, 233 p.

Черната Дмитро Вадимович – студент групи 2АКІТ-18б, Факультет комп'ютерних систем і автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: chetn1944@gmail.com

Боровська Таїса Миколаївна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: taisaborovska@vntu.edu.ua

Науковий керівник: **Боровська Таїса Миколаївна** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: taisaborovska@vntu.edu.ua

Chernata Dmytro Vadymovych – student of group 2AKIT-18b, Faculty of Computer Systems and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: chetn1944@gmail.com

Borovska Taisa Mykolayivna — Dr. Sc. (Eng.), Professor of Computer Control Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: taisaborovska@vntu.edu.ua

Supervisor: **Borovska Taisa Mykolayivna** – Dr. Sc. (Eng.), Professor of Computer Control Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: taisaborovska@vntu.edu.ua