

УДК 004.832.34; 004.896

*Р.О. Ткаченко, д-р техн. наук, професор, І.О. Вербенко
(Національний університет «Львівська політехніка»)
І.О. Малець, канд. техн. наук, доцент
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ УПРАВЛІННЯ КРАНОВИМИ УСТАНОВКАМИ

Проведено огляд методів та засобів управління порталними та мостовими крановими установками. Розглянуто ручне управління кранами, що виконується оператором-людиною, проаналізовано вимоги до їхньої роботи та особливості процесу управління крановими установками. Розглянуто управління крановими установками на основі пропорційно-інтегрально-диференціальних (ПІД) регуляторів, що дозволяє напів чи повністю автоматизувати процес керування кранами, проаналізовано процес управління крановими установками з використанням ПІД регуляторів. Розглянуто управління порталними та мостовими кранами на основі систем нечіткої логіки, що базується на використанні знань та досвіду оператора крана. Проведено порівняльний аналіз процесу проектування системи управління на основі традиційних методів та методів нечіткої логіки та відзначено переваги систем нечіткого управління. Отримані результати застосовуються у розробці автоматизованої системи нечіткого управління крановими установками для контролю коливання вантажу під час його перевезення.

Ключові слова: кранова установка, мостовий кран, порталний кран, ручне управління крановими установками, ПІД регулятори, нечітка логіка, нечіткий контролер, нечіткі системи управління.

Р.А. Ткаченко, І.О. Вербенко, І.О. Малець

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ КРАНОВЫМИ УСТАНОВКАМИ

Проведен обзор методов и средств управления порталными и мостовыми крановыми установками. Рассмотрено ручное управление кранами, которое выполняется оператором-человеком, проанализированы требования к их работе и особенности процесса управления крановыми установками. Рассмотрено управление крановыми установками на основе ПИД-регуляторов, что позволяет полу- или полностью автоматизировать процесс управления кранами, проанализирован процесс управления крановыми установками с использованием ПИД регуляторов. Рассмотрено управление порталными и мостовыми кранами на основе систем нечеткой логики, основанной на использовании знаний и опыта оператора крана. Проведен сравнительный анализ процесса проектирования системы управления на основе традиционных методов и методов нечеткой логики и отмечено преимущества систем нечеткого управления. Полученные результаты применяются в разработке автоматизированной системы нечеткого управления крановыми установками для контроля колебания груза при его перевозке.

Ключевые слова: крановая установка, мостовой кран, порталный кран, ручное управление крановыми установками, ПИД-регуляторы, нечеткая логика, нечеткий контроллер, нечеткие системы управления.

METHODS AND MEANS FOR MANAGING CRANE SYSTEMS

Methods and means for managing gantry and bridge cranes were reviewed. Manual crane control strategy, which is performed by a human operator, was considered and the requirements for operator's work and features of crane management process were analyzed. Crane systems based on PID controllers, which allow managing cranes in semi or fully automated ways, were reviewed and the process of crane controlling using PID controllers was analyzed. Management process of gantry and bridge cranes based on fuzzy logic a system which is use knowledge and experience of the crane operator was considered. A comparative analysis of the design process of crane management systems based on traditional methods and techniques of fuzzy logic was examined and the benefits of fuzzy control systems were highlighted. Obtained results are used in designing of the automated fuzzy crane management system to control load position during its transporting.

Key words: crane system, bridge crane, gantry crane, crane manual control process, PID controllers, fuzzy logic, fuzzy controller, fuzzy control system.

Вступ та аналіз літературних джерел

У сучасній промисловості кранові установки широко використовуються для транспортування масивних вантажів від однієї точки до іншої, що є невід'ємною функцією багатьох виробництв. Портальний кран – установка для горизонтального переміщення вантажів. Суттєвою проблемою при переміщенні вантажів за допомогою портального крану є виникнення коливань вантажу, які погіршують енергетичні показники, час транспортування і надійність приводу та можуть призводити до аварійних ситуацій. Тому необхідно передбачити міри щодо гасіння цих коливань [1].

Більшість рішень для розв'язку проблем пов'язаних з управлінням такою системою базуються на лінеаризованій математичній моделі. Такі підходи управління є оптимальними, адаптивними та надійними. Corrigan G., Giua A. і Usai G [2] розробили посилений режим логіки з оптимальними контролерами, Wang Z. і Surgenor B. [3] використовували LQ контролер, а Nakamada Y. і Nomura M. [4] використовували два контролери: один для контролю положення кошика, інший-для управління коливанням [5].

Назріла необхідність розробки нових підходів для управління системами керування, які залежать від людського фактора, що суттєво впливає на якість та рівень сучасних рішень. Значно просунувся в цьому напрямку професор Каліфорнійського університету (Берклі) Лотфі А. Заде (Lotfi A. Zadeh). Його робота «FuzzySets», що з'явилась в 1965 р. в журналі Information and Control, заклала основи моделювання інтелектуальної діяльності людини і стала початковим етапом до розвитку нової математичної теорії. L.A.Zadeh заснував теорію, на нечітких множинах про процеси і явища. Також слід відмітити внесок таких вчених, як Р. Єгер, М. Сугено, Е. Мамдані, А. Кауфман, Х. Ліпп, В. Педрич, А. Борисовий, Д. Поспелов, І. Сироджа та інших [6].

Таким чином одним з шляхів підвищення ефективності процесу управління системами, які базуються на використанні людського досвіду, є використання засобів нейро-нечіткого моделювання. Для моделювання використовуються нечіткі контролери. Контролер на основі нечіткої логіки дає змогу врахувати небажані ефекти, викликані системними нелінійностями. З іншого боку, недоліком ужитку на основі нечіткої логіки вважається значна тривалість розрахунку контролером вихідних даних, викликаний великим числом контрольованих параметрів. Таким чином, через те, що нечіткі правила ростуть в геометричній прогресії з вхідними даними контролера, основні завдання управління можуть бути розділені на два контролери: один для контролю положення кошика і другий для управління коливанням [7].

Мета дослідження

Основним завданням роботи є аналіз методів та засобів управління портальними та мостовими кранами для подальшого їх застосування у розробці системи автоматизованого управління крановими установками на основі нечіткої логіки. Метою роботи є розробка надійної, швидкої і практичної у застосуванні системи управління портальними кранами для перевезення вантажу від точки до точки за короткий час, і в той же час контролювання розгойдування вантажу, так, щоб воно не переходило допустимі межі в процесі перевезення, а також повне усунення розгойдування контейнера на місці призначення.

1. Особливості кранових установок

На будівництвах промислових об'єктів, на залізничних станціях, у портах та інших подібних місцях є потреба у спеціальному вантажопідіймальному устаткуванні для транспортування матеріалів, обладнання чи іншого з однієї точки у іншу. Такі матеріали чи обладнання, як правило, важкі, великі і небезпечні, та не можуть бути перенесені робітниками вручну. Для того, щоб зробити роботу легшою та ефективнішою, використовуються кранові установки, за допомогою яких можна переміщувати та піднімати на потрібну висоту матеріали, товар, обладнання та інші великі об'єкти.

Залежно від зони обслуговування і конструкції кранові установки діляться на дві групи: прольотні та стрілові.

Портальні крани розміщують в приміщеннях чи на відкритих майданчиках і обслуговують прямокутну ділянку навколо себе. Залежно від конструкції портальні крани діляться на мостові, козлові та мостокабельні.

Стрілові крани мають вантажозахоплюючий пристрій, який підвішений до стріли або вантажного візка, що переміщається по стрілі. Залежно від зони обслуговування стрілові крани діляться на стаціонарні та пересувні. Залежно від конструктивних особливостей та області застосування – на стрілові стаціонарні крани поділяються на поворотні на колоні, настінні поворотні, підвісні поворотні та вантові.

Основними параметрами портальних та стрілових кранів є:

- Вантажність Q_H , т – максимально допустима, номінальна маса, для підймання і переміщення якої розраховані основні механізми кранової установки при встановлених умовах експлуатації. Вантажність вимірюється у кг або т, та визначається за такою формулою:

$$Q_H = \frac{G_H}{g}, \text{ кг} \quad (1)$$

де Q_H – вантажопідйомність кранової установки; G_H – сумарна вага максимально допустимого, номінального вантажу G_B і вантажозахоплюючих пристроїв G_{II} , що обчислюється таким чином:

$$G_H = G_B + G_{II}, H \quad (2)$$

- Проліт крана $L_{к,м}$ – це віддаль по горизонталі між осями рейок кранового шляху.
- Виліт стріли $L, м$ – це віддаль по горизонталі від осі обертання поворотної частини до вертикальної осі вантажозахоплюючого пристрою.
- Висота підйому вантажу – $H, м$.
- Швидкість підйому вантажу – $V_1, м/с$.
- Швидкість переміщення кошика крана або системи рухомих обвідних і напрямних блоків – $V_2, м/с$.
- Швидкість переміщення крана – $V_3, м/с$.
- Кутова швидкість повороту крана – $\omega, с$.

Значення швидкостей руху різних механізмів вибирають залежно від вимог технологічного процесу тільки при усталеному режимі роботи.

- Найбільший вантажопідйомний момент:

$$M_B = G_H L - \text{для стрілових кранів,}$$

$$M_B = \frac{G_H L_K}{4} - \text{для прольотних.}$$

Залежно від величини вантажопідйомного моменту розраховується металоконструкція кранів і визначається стійкість крана стрілового типу до перекидання в процесі експлуатації.

- Маса крана – m_k .

- Загальна потужність двигунів, кВт.
- Режими роботи механізмів – це комплексна характеристика, яка враховує характер зовнішніх навантажень, часті пуски, зупинки і реверси, та тривалість їх дії. Нормативними документами встановлено п'ять режимів роботи кранових механізмів: ручний – Р, легкий – Л, середній – С, важкий – В, дуже важкий – ДВ.

- Продуктивність $P, m/год$.

2. Особливості ручного управління крановими установками

Робота оператора крана є дуже важливою і вимагає неабиякої відповідальності та уваги. Існують правила та положення, яким повинні слідувати оператори кранів, а також обов'язки, які вони повинні виконувати під час роботи з крановими установками.

Як роботодавці, так і працівники повинні знати, що всі крани відрізняються і можуть мати спеціальні операційні вимоги, вимоги до безпеки, огляду та технічного обслуговування. Тому дуже важливим є, особливо для операторів кранів, ознайомлення з інструкцією по керуванню крана, який буде використовуватися на виробництві.

Для того, щоб стати оператором крана, працівник повинен відповідати мінімальним кваліфікаційним вимогам, а також пройти навчання та здати відповідний тест. Мінімальні кваліфікаційні вимоги до працівників, які можуть стати операторами кранів, є:

- Мати добрий зір. Вимоги до зору є такими ж, як для водіїв.
- Всі чотири кінцівки повинні бути робочими та ефективними.
- Мати відповідний зріст, для того, щоб управляти пристроєм та мати безперешкодне коло огляду робочої області.
- Мати добру координацію очей, рук та ніг.
- Працівник має бути здатним розуміти знаки, позначки та інструкції.

Діючі оператори крана мають перевірятися на відповідність вищевказаним кваліфікаційним вимогам принаймні раз на три роки.

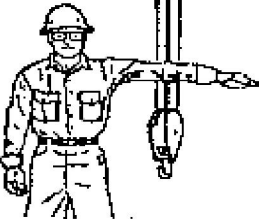
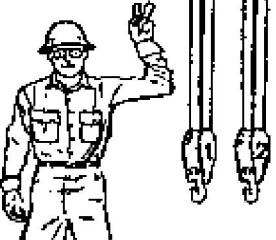
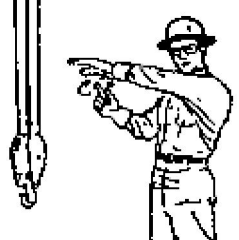
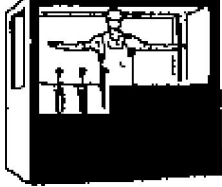
Робота оператора крану починається з візуального його огляду. Візуальний огляд основних елементів крана проводиться з безпечної точки спостереження. До елементів, які мають бути оглянуті перед початком роботи, належать: з'єднання крана та підйомника, пристрої управління, гальма, гак, гаківі защіпки, сталевий трос, пропускання тросу крізь кільце, кінцеві вимикачі, витікання палива, перевірка на незвичайні звуки, перевірка знаків попередження та безпеки, чистота та освітлення.

Під час роботи з краном оператор повинен реагувати тільки на сигнали від співробітника – направляючого. Сигнали, які подаються операторові крана, повинні відповідати стандартам ручних сигналів для операторів мостових та порталних кранів.

Таблиця 1.

Стандарти ручних сигналів для операторів мостових та порталних кранів.

 <p>ПІДЙМАТИ З передпліччя вертикально, вказівний палець спрямовується вгору та рука рухається по малому горизонтальному колу.</p>	 <p>ОПУСКАТИ Рука витягнута вниз, вказівний палець спрямований вниз та рука рухається по малому горизонтальному колу.</p>	 <p>ПЕРЕМИЧКА РУХАЄТЬСЯ Рука витягнута вперед, рука відкрита та злегка піднята, штовхаючий рух рукою робиться у напрямку руху.</p>
--	---	--

 <p>ВАГОНЕТКА РУХАЄТЬСЯ Долоня спрямована вгору, пальці зімкнені, великий палець вказує напрямку руху, поштовх рукою горизонтально.</p>	 <p>ЗУПИНИТЬСЯ Рука витягнута, долоня спрямована вниз, тримати жорстку позицію.</p>	 <p>АВАРІЙНА ЗУПИНКА Рука витягнута, долоня спрямована вниз, рука рухається швидко вправо та вліво.</p>
 <p>ДЕКІЛЬКА ВАГОНЕТОК Один палець вгору для одного блока, та два пальці для двох блоків. Слідувати регулярним сигналам.</p>	 <p>РУХАТИ ПОВІЛЬНО ВАГОНЕТКА РУХАЄТЬСЯ ЗУПИНИТЬСЯ АВАРІЙНА ЗУПИНКА ДЕКІЛЬКА ВАГОНЕТОК РУХАТИ ПОВІЛЬНО Одна рука використовується для подачі будь-якого сигналу руху, а інша рука ставиться нерухомо перед нею, даючи сигнал руху.</p>	 <p>МАГНІТ ВІД'ЄДНАВСЯ Оператор крана протягує обидві руки в сторони долонями вгору.</p>

3. Системи управління на основі ПІД регуляторів

Пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори використовуються в багатьох автоматизованих системах управління технологічними процесами для регулювання температури, тиску, рівня та інших змін в промисловому процесі.

Вони беруть свій початок у 1939 році, коли компанія «Taylor and Foxboro» запропонувала перші два ПІД регулятори. Всі сучасні контролери створюються на основі пропорційного, інтегрального і диференціального регуляторів.

ПІД регулятори є основою сучасних систем управління технологічними процесами, оскільки вони використовуються для автоматично регулювання завдань, які, в іншому випадку, довелось б робити вручну. Пропорційний регулятор є основною рушійною силою в контролері, але кожен режим виконує свою унікальну функцію. Пропорційний та інтегральний режими контролю мають найважливіше значення для більшості контурів управління, в той час як диференціальний режим відмінно підходить для управління рухом. Контроль температури - типове застосування, яке використовує всі три режими управління.

Кожен використовує контури управління. Наприклад, коли водій хоче їхати зі швидкістю 65 кілометрів на годину, він натискає на педаль газу, поки не досягне потрібної швидкості. Але що відбувається, коли водій рухається дорогою вгору? Автомобіль сповільнюється через обертальний момент і, водій тисне на педаль газу більше, щоб їхати із бажаною швидкістю, 65 кілометрів на годину. В такий момент нога водія, спідометр і його мозок створили контур управління. З метою автоматизувати такий процес управління, американські розробники автомобілів запропонували автоматизований контур керування швидкістю, також відомий з 1958 року як круїз-контроль.

У сучасній промисловій управлінні часто потрібне, щоб регулювати процеси, як частину контура управління. Контролер отримує запит з програматора і порівнює його з вимірним зворотним зв'язком. Значення запиту, що отримує контролер, може розглядатися як «де я хочу бути», а значення зворотного зв'язку може розглядатися як «де я насправді». Різниця між значеннями запиту і зворотного зв'язку називається помилкою. Робота контролера полягає в усуненні цієї помилки [8, 9, 10].

Управління на основі ПІД регуляторів використовується до тих пір, поки альтернативні варіанти не можуть бути застосовані до системи. З недавнім розвитком методів управління, ПІД регулятори замінюються іншими новітніми методами та засобами управління системами, які є більш якісними та ефективнішими в роботі.

4. Нечіткі системи управління

Назріла необхідність розробки нових підходів для управління системами керування, які залежать від людського фактора, що суттєво впливає на якість та рівень сучасних рішень. Значно просунувся у цьому напрямку професор Каліфорнійського університету (Берклі) Лотфі А. Заде (Lotfi A. Zadeh). Його робота «Fuzzy Sets», що з'явилась в 1965 р. в журналі *Information and Control*, заклала основи моделювання інтелектуальної діяльності людини і стала початковим етапом до розвитку нової математичної теорії. L.A.Zadeh заснував теорію, на нечітких множинах про процеси і явища. Також слід відмітити внесок таких вчених, як Р. Єгер, М. Сугено, Е. Мамдані, А. Кауфман, Х. Ліпп, В. Педрич, А. Борисовий, Д. Поспелов, І. Сироджа та інших [13].

Таким чином, одним з шляхів підвищення ефективності процесу управління системами, які базуються на використанні людського досвіду, є використання засобів нейронечіткого моделювання. Для моделювання використовуються нечіткі контролери. Контролер на основі нечіткої логіки дозволяє врахувати небажані ефекти, викликані системними нелінійностями. З іншого боку, недоліком ужитку на основі нечіткої логіки вважається великий час розрахунку контролером вихідних даних, викликаний великим числом контрольованих параметрів.

Традиційна теорія управління має багато важливих застосувань. Є, однак, практичні випадки, коли ця теорія не може бути застосована. Для того, щоб застосовувати традиційну теорію управління, необхідно:

- знати модель керованої системи;
- знати цільову функцію, сформульовану в точних термінах;
- вирішити відповідну задачу математичного моделювання.

Якщо одна з цих умов не виконується, то традиційна методологія управління не застосовується, тому, що у таких випадках:

- Модель і цільова функція відома, але задача не може бути вирішена тому, що розробка дуже складна і потребує багато часу, або коли задача є новою і алгоритми її вирішення ще не були розроблені. Наприклад, задача паркування автомобіля є одним з таких прикладів.

- Модель відома, але цільова функція невідома. Таким прикладом може бути система управління транспортними засобами. Мета такої системи зробити їзду найбільш комфортно, але немає єдиного визначення, яким саме має бути комфорт.

- Модель керованої системи невідома. У багатьох практичних застосуваннях можна виміряти всі можливі змінні і точно визначити модель. Але є й інші ситуації, де модель керованої системи є невідомою і неможливо точно описати модель. Прикладом такої системи є система управління хірургічними інструментами, де основними знаннями про систему є досвід та знання лікаря про роботу з потрібними інструментами [11, 12, 13].

Якщо ж традиційна методологія управління не може бути застосована, то зазвичай використовуються знання фахівця про цю систему, наприклад, експертного оператора, який успішно керує необхідною системою. Оператор-експерт знає, як керувати системою, тому потрібно зібрати всі його знання та правила управління і використати їх в системі автоматичного управління, яка може бути створена на основі методології нечіткого управління. Методологія нечіткого управління ґрунтується на перетворенні неформальних правил експертного контролю в чітку стратегію управління.

5. Система управління крановими установками на основі нечіткої логіки

Беручи до уваги переваги нечітких систем виведення, такі як застосування досвіду людини-оператора для процесу управління кранами та розробка системи без моделі керованої системи, дає можливість розробити автоматизовану систему управління крановими установками на базі нечіткої логіки.

На сьогодні більшість кранових установок є неавтоматизованими, і за їх роботу відповідають оператори, які слідкують за правильністю виконання роботи і безпекою перевезення вантажу. Проте, бувають випадки, що такі людські фактори як виснаженість, погане самопочуття чи інші, можуть вплинути на якість роботи з крановою установкою, та, у гіршому випадку, спричинити шкоду виробництву. Щоб запобігти таким випадкам, кранові установки потрібно автоматизувати. Автоматизована система управління кранами дасть можливість керувати розгойдуванням вантажу під час його переміщення від точки до точки, що забезпечить його якісне та швидке перевезення.

Управління розгойдуванням вантажу крана базується на таких основних параметрах як кут нахилу вантажу, відстань від стартової точки та потужність. На основі кута нахилу та відстані в даний момент часу можна визначати потрібну потужність, яка має бути задана до крана. Відповідна потужність визначатиметься за допомогою нечітких правил, які розроблені на основі досвіду оператора крана. Застосування нечітких правил відтворює такий процес управління крановою установкою, як його виконує оператор.

6. Висновки

Розглянуто особливості порталних та стрілових кранів, характеристику їх конструкції та їхні основні параметри. Проаналізовано різні методи та засоби управління крановими установками, такі як ручне управління, управління на основі ПД-регуляторів та на основі систем нечіткої логіки.

Під час ручного управління крановими установками основне завдання управління здійснюється оператором. Таке управління називається зі зворотним зв'язком, тому що оператор змінює швидкість переміщення вантажу на основі зворотного зв'язку від процесу через давач руху. Оператор, процес і давач руху утворюють контур управління. Ручне управління крановими установками є трудомістким процесом. Наприклад, щоб підтримувати швидкість руху вантажу, оператор повинен дивитися на давач руху і регулювати відповідно до нього швидкість руху вантажу. Якщо вантаж рухається занадто швидко і починає гойдатися, оператор повинен зменшити швидкість, щоб зменшити коливання вантажу назад до необхідного значення.

Для автоматизації процесу управління краном можна використати ПД-регулятор. Автоматизоване управління системою означає, що деякі характеристики цієї системи контролюються, і, залежно від значень цих характеристик, застосовуються різні елементи управління. Алгоритм, який перетворює входи давачів у відповідні контрольні значення називається стратегією управління. Ці системи управління проектуються на базі таких основних кроків:

- Поведінка системи має бути описана в точних математичних термінах, тобто, використовується точна математична модель системи.
- Потрібно описати в точних термінах те, чого хочемо досягти. Один хоче управління, яке буде кращим у сенсі певного критерію.
- Після того, як керована система описана в точних математичних термінах, цільова функція описується таким же чином, і може бути визначена для кожної стратегії управління і для кожного початкового стану, як саме система буде змінюватися. Основною метою є те, щоб знайти стратегію управління, для якої значення цільової функції є найбільш можливим. Процес управління буде відбуватися таким чином, що контролер отримує запит з програматора і порівнює його з вимірним зворотним зв'язком. Значення запиту, що отримує контролер, може розглядатися як «де я хочу бути», а значення зворотного зв'язку може розглядатися як «де я насправді». Різниця між значеннями запиту і зворотного зв'язку називається помилкою. Робота контролера полягає в усуненні цієї помилки.

Системи управління на основі нечіткої логіки є простим, заснованим на правилах «якщо x і y , то z » підходом до вирішення проблеми управління, що не намагається моделювати систему математично. Модель нечіткої логіки опирається на досвід оператора, а не на їх технічне розуміння системи. Наприклад, замість роботи з контролем руху в таких термінах, як «20 м/год», «40 м/год» і т.д., будуть використовуватися такі терміни, як «ЯКЩО швидкість дуже велика І кут нахилу вантажу дуже великий ТОДІ зменшуємо швидкість до менше середнього». Такі терміни не є точними, але чітко описують те, що насправді має статися.

Системи нечіткої логіки були розроблені як кращий метод для сортування та обробки даних, але виявилися відмінним вибором для багатьох системи управління, оскільки вони імітують логіку управління системи людиною. Такі системи описують вхідні та вихідні дані у вигляді простих фраз, таких, яких використовує і розуміє людина-оператор.

Системи логістики на основі нечіткої логіки дозволяють використовувати досвід і результати експериментів для забезпечення більш ефективних рішень багатьох широко розповсюджених задач. Вони не замінюють і не конкурують з традиційними методами управління. Проте, нечітка логіка розширює шляхи впровадження автоматизованих методів контролю, які використовуються в ужитку, і додає можливість використання спостереження в управлінні. Простий приклад з краном установками показує, що застосовуючи системи нечіткого управління можна забезпечити прозоре і просте рішення для проблеми, яка набагато складніше вирішується, використовуючи традиційні методи управління.

Список літератури

1. Обмеження швидкості електропривода візка мостового крану при розгоні у три етапи. // Вісник Кременчуцького державного університету імені М. Остроградського. – 2010. – №4. – С. 24–27.
2. An Implicit Gain-Scheduling Controller for Cranes [Електронний ресурс] // IEEE transactions on control system technology. – 1998. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.diee.unica.it/giua/PAPERS/JOUR/98tctst.pdf>.
3. Wang Z. Performance Evaluation on the Optimal Control of a Gantry Crane / Z. 3. Wang, B. Surgenor. // 7th Biennial ASME Conference Engineering System Design and Analysis. – 2004.
4. Anti-Sway and Position Control of Crane System. // Proceedings of AMC 2. – 1996. – С. 657–662.
5. Popadic T. A fuzzy control scheme for the gantry crane position and load swing control / T. Popadic, F. Kolonic, A. Poljungan. // University of Zagreb.
6. Сидорук А. В. Інтелектуальні системи на основі нечітких динамічних взаємодіючих процесів / А. В. Сидорук. // Науковий потенціал України. – 2010. – С. 5.
7. Omar H. M. Control of Gantry and Tower Cranes : дис. канд. : Dissertation su / Omar – Virginia, 2003. – 100 с.
8. Avery P. Introduction to PID control [Електронний ресурс] / Paul Avery // Paul Avery Senior Product Training Engineer Yaskawa Electric America, Inc. Waukegan. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <http://machinedesign.com/sensors/introduction-pid-control>.
9. PID Controllers Explained [Електронний ресурс]. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <http://blog.opticontrols.com/archives/344>.
10. What is PID Control? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ospid.com/blog/what-is-pid-control/>.
11. Practical Fuzzy Logic Design [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.fuzzytech.com/e/e_a_pfd.html.
12. Europe Gets into Fuzzy Logic. // Electronics Engineering Times. – 1991. – №11.
13. Wiley J. Fuzzy Sets and Applications: Selected Papers by L.A. Zadeh, ed. R.R. Yager et al. / John Wiley. – 1987

References

1. Obmegettja svïdkosti elektroprivoda vizka mostovogo kranu pri rozgoni u tri etapi. // Visnik Kremenchucjkogo dergavnogo universitetu imeni M. Ostrogradsjkogo. – 2010. – №4. – С. 24–27.
2. An Implicit Gain-Scheduling Controller for Cranes [Електронний ресурс] // IEEE transactions on control system technology. – 1998. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.diee.unica.it/giua/PAPERS/JOUR/98tcst.pdf>.
3. Wang Z. Performance Evaluation on the Optimal Control of a Gantry Crane / Z. 3. Wang, B. Surgenor. // 7th Biennial ASME Confrence Engineering System Design and Analysis. – 2004.
4. Anti-Sway and Position Control of Crane System. // Proceedings of AMC 2. – 1996. – С. 657–662.
5. Popadic T. A fuzzy control scheme for the gantry crane position and load swing control / T. Popadic, F. Kolonic, A. Poljungan. // University of Zagreb.
6. Sidoruk A.V. Intelktualni sistemi na osnovi nechitkih dinamichnih vzaemodijuchih procesiv / A. V. Sidoruk. // Naukovij potencial Ukraïini. – 2010. – С. 5.
7. Omar H. M. Control of Gantry and Tower Cranes : дис. канд. : Dissertation su / Omar – Virginia, 2003. – 100 с.
8. Avery P. Introduction to PID control [Електронний ресурс] / Paul Avery // Paul Avery Senior Product Training Engineer Yaskawa Electric America, Inc. Waukegan. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <http://machinedesign.com/sensors/introduction-pid-control>.
9. PID Controllers Explained [Електронний ресурс]. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <http://blog.opticontrols.com/archives/344>.
10. What is PID Control? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ospid.com/blog/what-is-pid-control/>.
11. Practical Fuzzy Logic Design [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.fuzzytech.com/e/e_a_pfd.html.
12. Europe Gets into Fuzzy Logic. // Electronics Engineering Times. – 1991. – №11.
13. Wiley J. Fuzzy Sets and Applications: Selected Papers by L.A. Zadeh, ed. R.R. Yager et al. / John Wiley. – 1987

