

УДК 681.5:62-83

В.В. Осадчий, О.С. Назарова, М.О. Олейников

Національний університет «Запорізька політехніка»

E-mail: w.osadchiy@gmail.com, nazarova16@gmail.com, www.nikolay-96@ukr.net

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ДВОМАСОВИМ ПОЗИЦІЙНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Безперервне вдосконалення технологічних процесів призводить до необхідності розробки машин і агрегатів, до яких пред'являються нові вимоги щодо експлуатаційних характеристик. Необхідність регулювання положення виконавчих позиційних механізмів виникає в підйомно-транспортних машинах, верстатах, маніпуляторах і металургійних агрегатах. Основна вимога, яка пред'являється до досліджуваних електроприводів, полягає в забезпеченні необхідної точності установки механізму в задану точку простору та в забезпеченні необхідного характеру руху робочого органу. Це робить актуальним завдання розробки та оптимізації систем автоматичного керування механізмами позиціонування.

Ключові слова: система автоматичного керування, позиційний електропривод, ПІД-регулятор, мікроконтролер, математичне моделювання.

В.В. Осадчий, Е.С. Назарова, Н.А. Олейников. Система автоматического управления двухмассовым позиционным электроприводом. Непрерывное совершенствование технологических процессов приводит к необходимости разработки машин и агрегатов, к

которым предъявляются новые требования по эксплуатационным характеристикам. Необходимость регулирования положения исполнительных позиционных механизмов возникает в подъемно-транспортных машинах, станках, манипуляторах и металлургических агрегатах. Основное требование, которое предъявляется к рассматриваемым электроприводам, заключается в обеспечении требуемой точности установки механизма в заданную точку пространства и в обеспечении необходимого характера движения рабочего органа. Это делает актуальной задачу разработки и оптимизации систем автоматического управления механизмами позиционирования.

Ключевые слова: система автоматического управления, позиционный электропривод, ПИД-регулятор, микроконтроллер, математическое моделирование.

V.V. Osadchiy, O.S. Nazarova, M.O. Oleinikov. The system of automatic control of a two-mass positional electric drive. Continuous improvement of technological processes leads to the need to develop machines and units, which are subject to new requirements for performance characteristics. The need to regulate the position of the actuating positioning mechanisms arises in the lifting and transport of machinery, machine tools, manipulators and metallurgical units. The main requirement, which is imposed on the considered electric drives, is to ensure the required accuracy of installation of the mechanism at a given point in space and to ensure the necessary nature of the movement of the working body. This makes the task of developing and optimizing automatic control systems for positioning mechanisms relevant.

Keywords: automatic control system, positional electric drive, PID-controller, microcontroller, mathematical modeling.

Постановка проблеми. Необхідність регулювання положення виконавчих позиційних механізмів виникає в підйомно-транспортних машинах, металорізальних верстатах, роботах і маніпуляторах, металургійних агрегатах. Основна вимога, яка пред'являється до досліджуваних систем автоматичного керування, полягає в забезпеченні необхідної точності установки механізму в задану точку простору, а в деяких випадках - в забезпеченні необхідного характеру руху робочого органу. Це робить актуальним завдання розробки систем автоматичного керування позиційними механізмами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з даної проблеми.

Задача позиціонування – одна з найпоширеніших задач, що зустрічаються в інженерній практиці багатьох галузей. Однак, питання розробки загальних методів аналізу позиційних систем не отримало достатнього висвітлення в літературі. Методи вирішення проблеми позиціонування викладені у галузевому плані: відома література про системи керування ліфтами, підйомно-транспортними засобами, металорізальними верстатами тощо. Тим часом, знаходячи рішення до цих галузевих завдань, можна і потрібно застосовувати єдині методи.

Мета. Розробка та дослідження системи автоматичного керування двомасовим позиційним електроприводом зі слідкуючим одномасовим приводом у внутрішньому контурі.

I. ПОЗИЦІЙНІ ЕЛЕКТРОПРИВОДИ

Позиційною системою (ПС) називається замкнута за положенням система автоматичного керування електроприводом, що призначена для перевodu початково-нерухомого виконавчого органу робочого механізму із деякого початкового положення в задане, із зупинкою в кінці переміщення [1, 2].

Традиційно ПС будується на основі триконтурної системи регулювання із зовнішнім контуром положення і внутрішніми контурами швидкості та струму.

Основними вимогами, що пред'являються до позиційних електроприводів, є точність позиціювання, яка, зазвичай, визначається як смуга відстаней по обидві сторони від заданої позиції, в якій має зупинитися виконавчий орган; стабільність, що оцінюється як повторюваність результатів точності при багаторазовому відпрацюванні одного і того ж заданого переміщення; продуктивність, яка визначається часом відпрацювання заданого переміщення і часом позиціювання; економічність, що визначається мінімумом капітальних і експлуатаційних витрат.

II. ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ

Для досліджень використовувався стенд, що був створений раніше [3]:

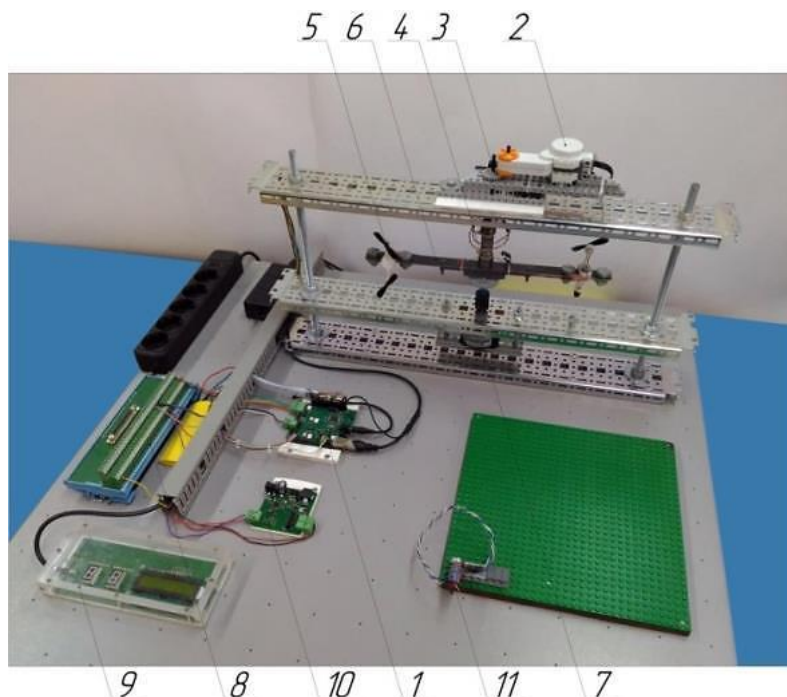


Рис. 1. Фото лабораторного стенду

Опис характеристик та функцій компонентів стенду: 1 - мікроконтролер, реалізований на базі мікропроцесору ADuC841; 2 - двигун постійного струму LEGO NXT, оснащений інтегрованим редуктором і інкрементним енкодером; 3 - понижуючий редуктор з передавальним відношенням 1:3; 4 - пружний елемент - металева кручена пружина, що створює коливання в двомасовій системі; 5 - чотири вентилятора, що являють собою момент опору; 6 - виконавчий механізм, представлений металевою пластиною, що має отвори для болтів M10; 7 - інкрементний енкодер другої маси; 8 - плата аналогового вводу-виводу PCI-1711U; 9 - блок індикації - пристрій відображення даних, що складається з двох семисегментних індикаторів і LCD монітора, що має поле 16×2 символів; 10 - плата керування вентиляторами; 11 - потенціометр, яким подається сигнал завдання по положенню φ_{23} за допомогою АЦП.

III. ОДНОМАСОВИЙ СЛІДКУЮЧИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, ЯК СКЛАДОВА ПОЗИЦІЙНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДВОМАСОВОЇ СИСТЕМИ

В залежності від алгоритму керування системою автоматичного керування можна поділити на три категорії: розімкнуті, замкнуті та комбіновані [3].

Керування розімкненою системою здійснюється без контролю результату, тобто без зворотного зв'язку.

В замкнених системах керуючий вплив здійснюється навпаки, в безпосередній залежності від керованої величини.

Комбіновані системи являють собою сукупність двох систем.

Для повороту другої маси на заданий кут була розроблена замкнута система керування по відхиленню, де перша маса керується слідкуючим приводом, а друга маса - позиційним. Головною особливістю слідкуючої системи є можливість відпрацювання невідомого змінного вхідного сигналу, на відміну від позиційної системи, котра рухається по заданій, раніше відомій траєкторії. Тому задачею позиційної системи є формування змінного впливу, що задається, який забезпечить поворот другої маси на заданий кут. Цей вплив подається на вхід слідкуючої системи і відпрацьовується першою масою з урахуванням впливу, який збурює, що обумовлено пружними властивостями ланки, яка з'єднує вихідний вал двигуна і виконавчий механізм.

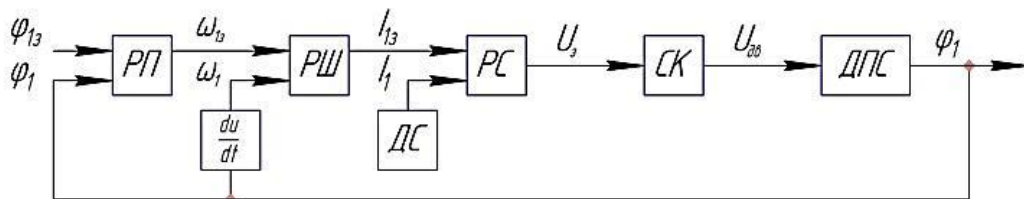


Рис. 2. Структурна схема слідкуючого електропривода

На рисунку 2 прийняті такі умовні позначення: РП - регулятор положення; РШ - регулятор швидкості; РС - регулятор струму; ДС - давач струму; СК - силовий комутатор; ДПС - двигун постійного струму LEGO NXT.

Слідкуюча система першої маси дозволяє із заданою точністю і швидкістю відпрацьовувати змінну дію, що задається, яким є кут повороту двигуна. Необхідні точність і швидкість приводу досягаються за рахунок програмної реалізації системи керування на базі мікроконтролера ADuC841, а також наявністю від'ємного зворотного зв'язку за кутом повороту. Була використана мова програмування - С.

IV. СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА ДВОМАСОВОЇ СИСТЕМИ ПОЗИЦІЙНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Використовуючи дані зняті з фізичної моделі була створена математична модель позиційного електроприводу, що представлена на рисунку 3.

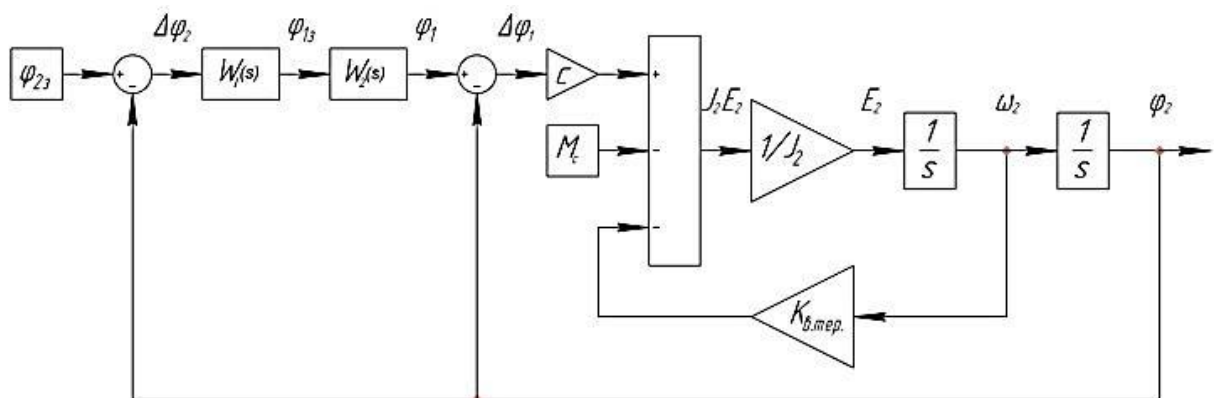


Рис. 3. Математична модель двомасової системи позиційного електроприводу

На рисунку 3 використовуються такі умовні позначення: $W_1(s)$ - передавальна функція регулятора положення другої маси; $W_2(s)$ - передавальна функція слідкуючого електроприводу; M_c - момент опору; c - жорсткість пружної ланки; $K_{в.тер.}$ - коефіцієнт в'язкого тертя.

Для синтезу регулятора, який має протидіяти моменту опору M_c , математична модель була перетворена: замість завдання по положенню другої маси φ_{23} , на вхід системи подається момент опору M_c .

Дана схема описана такою передавальною функцією:

$$W(s) = \frac{\varphi_2}{-M_c} = \frac{-1}{J_2 s^2 + K_{в.тер.} s + c W(s)_1 W(s)_2 + c} \quad (1)$$

З цієї функції виведена передавальна функція регулятора положення другої маси має вигляд:

$$W(s)_1 = - \frac{J_2 s^2 + K_{в.тер.} s + c + 1/W(s)}{c W(s)_2} \quad (2)$$

Для отримання передавальної функції регулятора положення другої маси знайдено бажану функцію всього контуру положення другої маси $W(s)_{бж.}$.

Системи, яким потрібна висока швидкість і мінімальне перерегулювання, називають системами з аперіодичною реакцією [4]. Дані вимоги підходять для вирішення поставлених задач перед системою, тому бажана передавальна функція повинна мати аперіодичну реакцію, як показано в формулі 3:

$$W(s)_{бж.} = \frac{\omega_n^3}{\alpha \omega_n s^2 + \omega_n^2 s + \omega_n^3}, \quad (3)$$

де $\omega_n = 4,82/T_s$ - власна частота; T_s - час встановлення, $T_s = 5$ с; α - коефіцієнт при якому система має аперіодичну реакцію, $\alpha = 1,9$.

Для знаходження передавальної функції регулятора положення система згорталася і за допомогою програмного забезпечення MatLab розраховувалися отримані передавальні функції. Функцію невідомого регулятора прирівнювали до коефіцієнта.

Після завершення згортання, замість отриманої передавальної функції, підставлялась бажана функція і в зворотному порядку розгорталась, до тих пір, поки не з'явилась передавальна функція регулятора положення другої маси, що показана в формулі 4.

$$W(s) = \frac{310,5s^3 + 1755s^2 + 1012s}{s^3 + 30s^2 + 300s + 1000} \quad (4)$$

Дану передавальну функцію було підставлено в основну модель та знято перехідні процеси вихідного сигналу φ_2 при прикладенні моменту опору M_c та завдання по положенню φ_{23} .

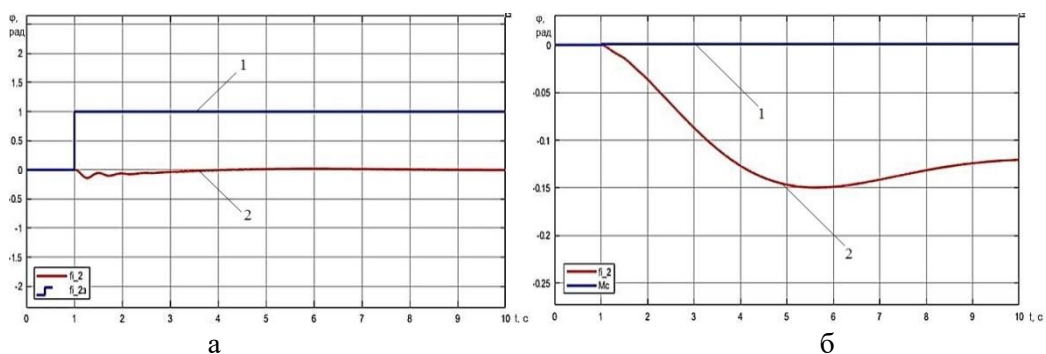


Рис. 4. Перехідні процеси: а - при ступінчастому завданні по положенню φ_{23} : 1 - завдання по положенню φ_{23} , 2 - положення другої маси φ_2 ; б - при прикладенні моменту опору M_c : 1 - момент опору, 2 - положення другої маси φ_2

Отже, даний регулятор складний в реалізації, не справляється ні з моментом опору M_c , ні з завданням по положенню φ_{23} , а тому його використання не доцільно.

V. РОЗРОБКА ПІД-РЕГУЛЯТОРА ТА ЙОГО НАЛАШТУВАННЯ

Відомо, що ПІД-регулятор – це пристрій, що застосовується в контурах керування, що оснащені ланцюгом зворотного зв'язку. Дані регулятори використовують для формування сигналу

керування в автоматичних системах, де потрібно досягти високих вимог щодо якості й точності перехідних процесів.

Сигнал керування ПІД-регулятора отримується в результаті складання трьох складових: перша пропорційна величині сигналу неузгодженості, друга - інтегралу сигналу неузгодженості, третя - його похідній [5, 6].

ПІД-регулятор був створений програмно мовою С, із частотою роботи 0,05 с.

Математична модель, що показана на рисунку 3, була перетворена наступним чином:

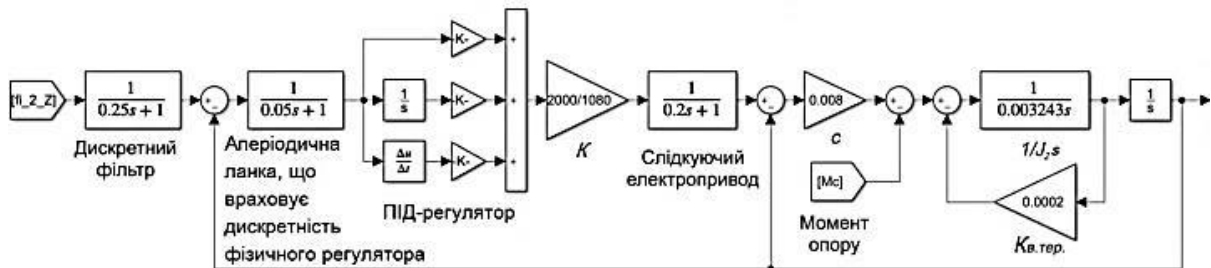


Рис. 5. Оновлена математична модель позиційного електроприводу

Використовуючи дану математичну модель, були знайдені коефіцієнти ПІД-регулятора: $K_p = 1/2$, $K_i = 1/37$, $K_d = 10$ та впроваджені у фізичну модель. На рисунку 6 показані графіки відпрацювання позиційним електроприводом сигналу завдання:

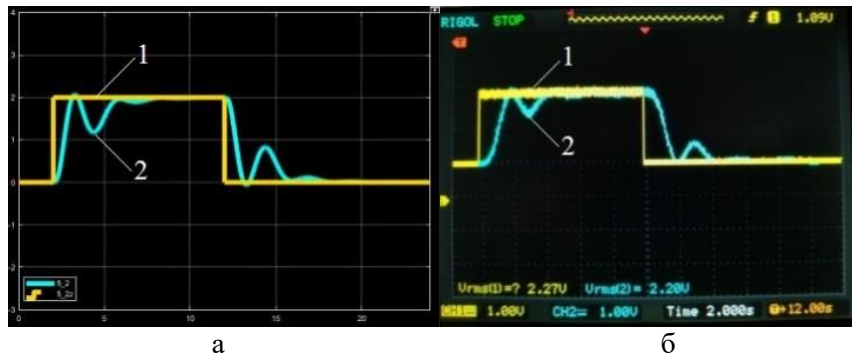


Рис. 6. Графіки сигналу положення другої маси φ_2 відносно завдання φ_2 ; а - математичної моделі, б - фізичної моделі, де 1 - завдання по положенню, 2 - положення другої маси

Графіки перехідних процесів дуже схожі, а отже, розроблена математична модель адекватна. Час перехідного процесу дорівнює 4 с.

На рисунку 7 показані графіки перехідних процесів положення першої φ_1 та другої φ_2 мас. На них можна побачити, як двигун відпрацьовує завдання φ_{13} з ПІД-регулятора.



Рис. 7. Графіки перехідних процесів положення першої φ_1 та другої φ_2 мас: а - математичної моделі, б - фізичної моделі, де 1 - положення першої маси, 2 - положення другої маси

По графікам видно, що двигун фізичного об'єкту має певні обмеження і не встигає відпрацьовувати завдання з ПІД-регулятора φ_{13} , як двигун математичної моделі.

Результати перевірки спроможності системи чинити опір впливу, що збурює, у вигляді 4 вентиляторів, які показано на рисунку 1 п.5.

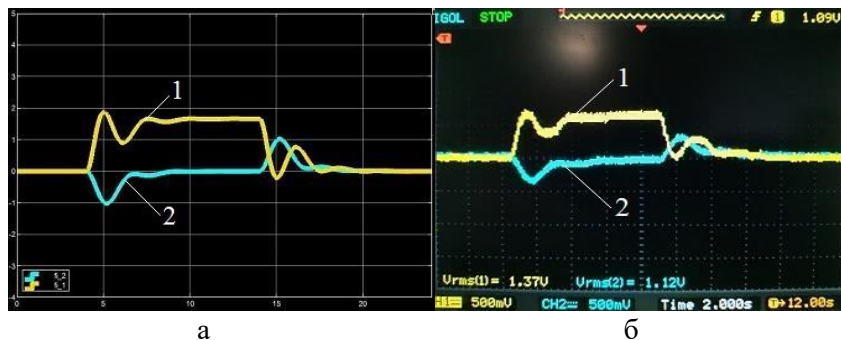


Рис. 8. Графіки перехідних процесів положення першої φ_1 та другої φ_2 мас при прикладенні M_c : а - математичної моделі, б - фізичної моделі, де 1 - положення першої маси, 2 - положення другої маси

Як видно по графікам, при прикладенні моменту опору задане положення відновлюється приблизно за 2 с.

Висновки:

1. Використання слідкуючого одномасового електроприводу у внутрішньому контурі позиційного двомасового електроприводу дозволяє спростити синтез регулятора і зменшити необхідну обчислювальну потужність при моделюванні за рахунок представлення слідкуючого електроприводу аперіодичною ланкою першого порядку.

2. Розроблена імітаційна модель системи автоматичного керування положенням, адекватність якої підтверджується фізичним експериментом, разом зі стендом може використовуватись при дослідженні замкнутих двомасових систем електроприводу постійного струму з мікропроцесорним керуванням.

3. Регулятор, синтезований класичним методом, має низьку практичну цінність у зв'язку зі складністю його реалізації, яка обумовлена високим порядком поліному чисельника передавальної функції.

4. Використання математичної моделі при практичному методі пошуку значень коефіцієнтів ПІД-регулятора, що забезпечують бажані статичні та динамічні характеристики системи, скорочує час пошуку та зменшує ризики пошкодження реального обладнання у процесі налагодження.

5. Подальші дослідження планується вести у напрямку збільшення швидкодії системи як за рахунок покращення динамічних характеристик приводу, що слідкує, так і шляхом уточнення математичної моделі, що дозволить отримати більш точні значення коефіцієнтів ПІД-регулятора.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Назарова, О.С. Дослідження позиційного електроприводу з релейним регулятором струму [Текст] / О.С. Назарова, М.О. Олейніков // 45-а Міжнародна науково-технічна конференція молоді ПАТ «Запоріжсталь», 18 жовтня 2018 р.: тези доповідей. – Запоріжжя: ПАТ «Запоріжсталь». – 2018. – с.75-76.

2. Osadchii, V.V. Investigation of positional automatic control system with relay current regulator [Текст] / V.V. Osadchii, O.S. Nazarova, M.O. Oleinikov // 6-а міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. молодих учених і студентів «Актуальні проблеми автоматизації та управління», 30 лист. 2018 р. : мат. конф. - Луцьк, 2018. - с. 66-72. Режим доступу: http://www.av.lntu.edu.ua/csv/konf_2018l.pdf

3. Осадчий В. В., Назарова О. С. Дослідження позиційного електропривода двомасової системи з внутрішнім слідкуючим контуром / В. В. Осадчий, О. С. Назарова, М. О. Олейніков // Вісник НТУ «ХПІ» - Харків, 2019. – с. 47-54.

4. Бишоп Р. Современные системы управления / Р. Бишоп, Р. Дорф. Пер. с англ. Б.И. Копылова – М: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.

5. Дискретный ПИД регулятор [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://robot-develop.org/archives/2833>.

6. Осадчий, В.В. Двомасова система позиційного електроприводу з ПІД-регулятором [Текст] / В.В. Осадчий, О.С. Назарова, М.О. Олейніков // II Регіон. наук.-практ. конф. «Транспортні системи та технології: проблеми та перспективи розвитку», 12 квіт. 2019 р. : мат. конф. – Запоріжжя, 2019. – с. 81-83.