Науково-дослідна частина
Національного університету
кораблебудування
імені адмірала Макарова

54025, м. Миколаїв,
просп. Героїв України, 9
Тел.: (0512) 70-91-04
http://conference.nuos.edu.ua
e-mail: conference@nuos.edu.ua

Навчально-науковий інститут
автоматики і електротехніки
Національного університету
кораблебудування
імені адмірала Макарова

54021, м. Миколаїв,
просп. Центральний, 3
Тел.: (0512) 39-94-42
http://iae.nuos.edu.ua
e-mail: iae@nuos.edu.ua

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ КОНФЕРЕНЦІЇ

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ – 2019

МАТЕРІАЛИ

ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

4–5 квітня 2019 року

Миколаїв • НУК • 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ – 2019

МАТЕРІАЛИ

ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

4–5 квітня 2019 року

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Центральний, 3, м. Миколаїв

Миколаїв • НУК • 2019

УДК 681.5:621.3
С 89

ОРГАНІЗАТОРИ:

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами.
Претензії до організаторів не приймаються.

Відповідальний за випуск О. О. Черно

Сучасні проблеми автоматики та електротехніки : матеріали
С 89 Всеукраїнської науково-технічної конференції. − Миколаїв : НУК, 2019. – 52 с.

У збірнику подані матеріали Всеукраїнської НТК "Сучасні проблеми автоматики та електротехніки".

Розглянуті питання теорії, практики та розвитку електромеханічних систем і пристроїв суднового та загальнопромислового призначення, а також електротехнологічного та інформаційно-вимірювального обладнання.

Збірник може бути корисним для наукових співробітників, викладачів, інженерів та студентів.

УДК 681.5:621.3

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2019

СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ

УДК 681.518.3

Волянська Я. Б., к.т.н., Волянський С. М., к.т.н., Підлубний Д. О., Біленький О. О.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СТАБІЛІЗАЦІЇ СУДНА НА ЗАДАНОМУ КУРСІ

Необхідність підвищення безпеки мореплавання і експлуатаційних характеристик морських суден призвела до створення різних типів автокермових. Такий електронавігаційний прилад, як автокермовий:

а) автоматично утримує судно на заданому курсі;

б) забезпечує перехід судна з курсу на курс із заданим радіусом або швидкістю;

в) здійснює керування рухом судна по траєкторії при роботі з електронною картографічною навігаційно-інформаційною системою (ЕКНІС).

Сучасні автокермові забезпечують не лише ефективну стабілізацію курсу судна, але і самонастроювання параметрів системи керування курсом при змінах стану судна (опади, види вантажу) і змінах умов плавання (швидкості, погоди, глибини фарватеру). Сучасні системи автоматичного керування курсом (САКК) судна побудовані на основі автокермових і дозволяють зменшити втрати ходового часу до 4 %, збільшити провізну спроможність судна та знизити витрату палива за рейс на 3–6 %. У результаті дій автокермового здійснюється ефективна стабілізація руху судна на заданій траєкторії при зниженні втрат потужності суднової енергетичної установки (СЕУ) на керування – зниження втрат рискання судна.

Функціонування будь-якої САКК ґрунтується на використанні математичної моделі динаміки кермового керування судном [1–5]. Природно, чим точніше математична модель динаміки керування судном буде описувати фізичні властивості судна і умови його руху, тим ефективніше можна синтезувати САКК, тим меншими будуть підсумкові втрати в енергетичній установці судна, знизяться динамічні навантаження на механізми кермової машини судна, шуми і вібрації.

У даний час теорія керування морськими суднами досить добре розвинена і дозволяє побудувати адекватні фізичним процесам руху судна математичні моделі [3, 4]. Математична модель морського судна, що зазвичай, ґрунтується на шести ступенях свободи руху твердого тіла у просторі [2, 4, 5]. Однак, система керування курсом (її керуючі контролери), що синтезується на основі такої моделі, виходить громіздкою, багато у чому надлишковою і, що суттєво, невиправдано гостро реагує на швидкоплинні зовнішні збурення. Компроміс між складністю математичної моделі і адекватністю моделі реальним фізичним процесам, привів до розвитку різних спрощених математичних описів руху судна [2, 4, 6].

Міжнародна морська організація (IMO) розробила і прийняла резолюцію A.751 (18), що регламентує необхідність використання математичних моделей судна при вирішенні практичних задач, що лежать у області безпеки судноводіння [6]. У результаті застосування резолюції A.751 (18) морськими класифікаційними органами рекомендовані для практичного використання у автокермових спрощені математичні моделі судна – моделі Номото першого і другого порядку [1–3, 6, 7].

Модель Номото першого порядку [1–3, 4] суттєво спрощена й часто застосовується для повірочних (оціночних, попередніх) розрахунків. Модель Номото другого порядку [6–8] більш ефективна на практиці та описується диференціальним рівнянням:

$$T_1 \cdot T_2(d^2\omega / d\omega^2) + (T_1 + T_2)(d\omega / dt) + \omega + H(\omega) = K\alpha_r + KT_3(d\alpha_r / dt), \qquad (1)$$

де ω – кутова частота (швидкість розвороту) судна; $H(\omega) = \nu_1 |\omega| \omega + \nu_2 \omega^3$ – нелінійна функція кутової частоти; T_1, T_2, T_3, K, ν_1, ν_2 – параметри математичної моделі; α_r – кут перекладки керма.

Практичне використання такої моделі (синтез керуючих контролерів для системи стабілізації курсу [8]) утруднене у зв'язку з необхідністю знання для конкретного судна основних параметрів моделі (1): T_1, T_2, T_3, K, ν_1, ν_2. Одне з простих рішень задачі ідентифікації параметрів рівняння (1) представлено у [9], де враховується, що $d\psi(t)dt = K_1 \cdot \omega(t)$. У цій формулі позначено: $\psi(t)$ – курсової кут; K_1 – конструктивний коефіцієнт судна.

Структура сучасних автокермових (*NAVPilot* xxx *Series* фірми *«Furuno»*, AP3xxx компанії *«Navis Engineering OY»*, PT500*D* компанії *«Yokogawa»*, *NautoPilot* 5000 і *NP*2025*PLUS* компанії *«Raytheon»*, *PilotStar D*, *Saura SA*-10, *Navitron* та ін.) дозволяє гнучко перебудовувати режими їх роботи, враховувати різні чинники і зовнішні впливи. Більшість відомих САКК [1–4] використовують у своєму складі класичні ПІД-регулятори і засновані на принципі стабілізації «за відхиленням». Відомо, що існує клас систем керування, заснований на принципах двоканального (інваріантного, комбінованого) керування. Проте цей принцип не застосовується у САКК у зв'язку зі складністю вимірювання зовнішніх збурень, діючих на корпус судна та відхиляючих його від заданого курсу.

Отже, встановлення можливості підвищення точності стабілізації судна на курсі та, відповідно, зниження втрат енергії, що витрачається на «рискання», за рахунок застосування у САКК принципів інваріантного керування, викладених у класичних роботах Г. В. Щипанова, М. М. Лузіна, Б. М. Петрова є досить актуальною задачею.

Зовнішнє навантаження (вітрове, хвильове), що діє на судно, має складний характер і робить основний збурюючий вплив на роботу системи стабілізації курсу (ССК). Попередньо, у найбільш загальному вигляді, розглянемо особливості функціонування систем стабілізації, заснованих на застосуванні принципу двоканального керування.

Однією з основних вимог загальної теорії інваріантності є наявність двох каналів передачі збурень (принцип «двоканальності» Б. М. Петрова). Відзначимо, що реальні двоканальні системи зазвичай забезпечують часткову компенсацію тільки одного, головного, обраного збурення. Ця компенсація досягається за рахунок зміни структури системи керування – структурної компенсації головного збурення.

Пропонується досить простий метод введення у систему стабілізації властивостей часткової інваріантності до вітро-хвильового навантаження, заснований на непрямому визначенні основного збурення $l_c(s)$, відхиляючого судно від заданого курсу.

Висновки. З аналізу результатів математичного моделювання запропонованої системи стабілізації курсового куту морського судна можна визначити, що така система є дієвою і ефективно придушує вітро-хвильові збурення на корпус судна. Наприклад, встановлено, що при умові компенсації результуючого збурення у 5° на судно, з використанням класичної системи стабілізації «за відхиленням» і ПІД «технічно оптимального» регулятора автокермового, максимальне динамічне відхилення становить 6° при часі регулювання (входження у 5 % зону), близько 2200 с. При аналогічних умовах навантажень, але з роботою запропонованої частково-інваріантної до збурень системи стабілізації курсу, отримуємо максимальне динамічне відхилення, близько до 1,3° при часі регулювання (входження у 5 % зону) до 200 с.

Список використаних джерел

1. Острецов Г. Э., Клячко Л. М. Методы автоматизации управления движением корабля. – М.: Физматлит, 2009. – 120 с.
2. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н. Системы автоматического управления движением судна. – М.: ТрансЛит, 2007. – 376 с.
3. Антонов В. А., Письменный М. Н. Теоретические вопросы управления судном. – Владивосток: МГУ им. адм. Г. И. Невельского, 2007. – 78 с.
4. Юдин Ю. И., Сотников И. И. Математические модели плоскопараллельного движения судна. Классификация и критический анализ. – Мурманск, 2006. – 95 с.
5. Снопков В. И. Управление судном. – СПб.: Профессионал, 2004. – 536 с.
6. Юдин Ю. И., Пашенцев С. В. Идентификация математической модели судна. – М.: Моркнига, 2015. – 141 с.
7. Ayulia Sitio Agisjaihc. An Analysis Nomoto Gain and Norbin Parameter on Ship Turning Maneuver // IPTEK, The Journal for Technology and Science. 2010. – Vol. 21. – no. 2. – Pp. 307–309.
8. Седова Н. А. Интеллектуальная система автоматического управления курсом судна // Транспортное дело России. Спецвыпуск. 2006. № 7. – С. 58–61.
9. Golikov V. V., Golikov V. A., Ya. Volyanskaya, Mazur O., Onishchenko O. A simple technique for identifying vessel model parameters // Earth and Environmental Science. 2018. – Vol. 167. – Pp. 135–139.

УДК 681.518.3

Калінін В. Р., Вінниченко І. Л., к.т.н
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

СТРУКТУРА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ВІДДАЛЕНОГО КОНТРОЛЮ РЕЗОНАНСНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ

З бурхливим розвитком технологій, промисловості та науки на перший план виходить також розвиток силової електроніки. Це пояснюється тим, що у суспільства зростають потреби у енергоресурсах, та, як наслідок, необхідність їх економного та ефективного використання. Імпульсні перетворювачі електроенергії на сьогоднішній день є одними з найбільш поширених пристроїв вторинного живлення, що застосовуються у різних галузях техніки та промисловості. З часом виникають все більш складні задачі, при яких посилюються вимоги до ряду таких показників як: габарити, економічність, якість електроенергії. Одним з ефективних рішень таких задач є використання явища електричного резонансу. В імпульсних перетворювачах електроенергії, до складу яких включено резонансні контури, ККД наближується до максимально досяжного за рахунок зниження комутаційних втрат потужності, а маса і габарити зменшуються.

Також необхідно враховувати, що певні промислові рішення потребують ізоляції небезпечних об'єктів від робочого персоналу, що є досить складним через обмеження місця для забезпечення технологічного процесу. Тому виникає потреба у дистанційному управлінні як технологічним процесом, так и окремими функціо-

нальними модулями, задіяними в ньому, в тому числі й джерелом живлення, що доцільно здійснювати за допомогою безпровідних каналів зв'язку (Bluetooth, Wi-Fi) або провідних каналів з досить суттєвою протяжністю (RS485).

Таким чином, метою роботи є розробка структури резонансного перетворювача із реалізованим віддаленим керуванням.

У структурі резонансного перетворювача напруги (рис. 1), живлення якого здійснюється від промислової мережі через випрямляч, використовується високочастотна резонансна ланка. Побудова перетворювачів напруги з високочастотними резонансними ланками є доцільною через кращі умови комутації у порівнянні з іншими типами перетворювачів. Поліпшення умов комутації зменшує динамічні втрати потужності, що призводить до отримання високого ККД резонансних перетворювачів(до 90%).

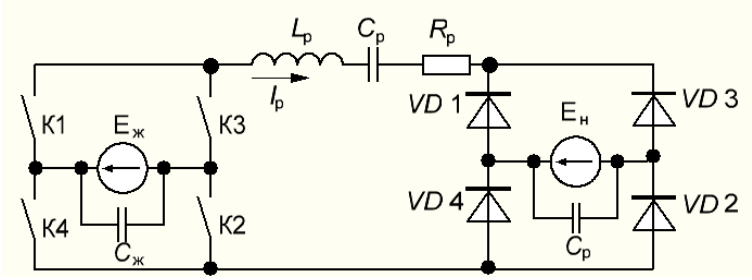


Рис.1.

Резонансний перетворювач (рис. 1) має двомостову структуру. Резонансний інвертор складається з ключів (К1, К2, К3, К4) та послідовного резонансного контура LpCpRp. На виході перетворювача присутній випрямляч мостовий VD1, VD2, VD3, VD4. Конденсатори Сж та Сн застосовуються в якості фільтрів. З послідовного резонансного кола активні втрати енергії мають місце на Rp [2].

При здійсненні віддаленого контролю перетворювача необхідно враховувати такі особливості:

1. Будь-який імпульсний перетворювач є джерелом польових елелектромагнітних завад, що може певним чином відобразитися на якості передачі керуючих сигналів.

2. Необхідно враховувати умови оточуючого середовища. В залежності від того, де відбувається технологічний процес (приміщення чи відкритий простір) та присутність завад (стіни, огородження, електронні щити та ін.) залежить якість та швидкість передачі керуючих сигналів.

3. Особливо необхідно приділяти увагу дистанції від оператора до резонансного перетворювача. В залежності від інтерфейсу передачі даних, що застосовується, існують різні обмеження, у тому числі і відстань передачі даних.

Для коректного підбору інтерфейсу для передачі керуючих сигналів, проведено їх порівняльний аналіз. У даній роботі порівняно особливості 2 безпровідних (Bluetooth та Wi-Fi) та 1 провідного інтерфейсу (RS485), що враховують такі характеристики, як швидкість, дальність, кількість пристроїв та інші, які приведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Тип інтерфейсу	Характеристика	
Bluetooth		
	Дальність дії	30 м.
	Кіл-ть підключених пристроїв	2
	Наявність маршрутизатора	-
	Фізичний канал	-
	Швидкість передачі	0,8 Мб/с
Wi-Fi		
	Дальність дії	300 м.
	Кіл-ть підключених пристроїв	до 100
	Наявність маршрутизатора	+
	Фізичний канал	-
	Швидкість передачі	108 Мб/с
RS485		
	Дальність дії	1200 м.
	Кіл-ть підключених пристроїв	256
	Наявність маршрутизатора	-
	Фізичний канал	+
	Швидкість передачі	10 Мб/с

Порівнявши данні інтерфейси можна зробити висновок, що використання Wi-Fi інтерфейсу зручніше в плані швидкості передачі даних та кількості підключених пристроїв, але його реалізація потребує наявності маршрутизатора. Якщо дальність невелика та немає необхідності підключення більше двох пристроїв, то доцільно використовувати Bluetooth без пристроїв-посередників. При великій кількості електромагнітних завад в області передачі керуючих сигналів краще використовувати екранізований фізичний канал RS485 [3].

Управління силовими ключами перетворювача здійснюється відповідно до число-імпульсного способу регулювання. Спосіб число-імпульсного регулювання вихідної напруги характеризується мінімальними динамічними втратами, так як припускає комутацію силових ключів моста лише при нульових значеннях резонансного струму. При число-імпульсному регулюванні силові ключі резонансного інвертора проводять струм протягом цілого числа півперіодів коливань, а сама форма струму підтримується синусоїдальною у всьому діапазоні регулювання. При цьому виникає можливість керування енергообміном між джерелом живлення, резонансним контуром і навантаженням шляхом чергування трьох алгоритмів комутації ключів [2]. При першому алгоритмі комутації енергія направляється від джерела живлення через резонансний інвертор до навантаження. При другому алгоритмі – джерело живлення не бере участь в енергообміні, при третьому – енергія рекуперується до джерела живлення. Зміни алгоритмів при використанні даного способу відбуваються при переході резонансного струму через нуль.

На рисунку 2 зображено структурну схему системи управління резонансного перетворювача постійної напруги.

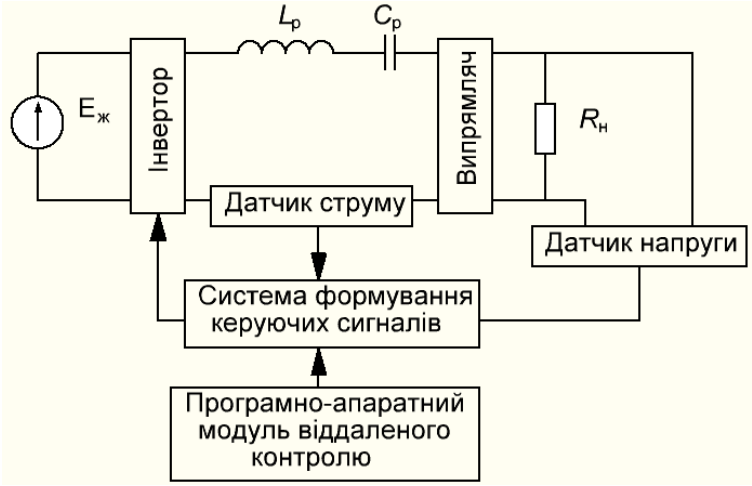


Рис. 2.

Система керування резонансним перетворювачем реалізує необхідні алгоритми комутації силових ключів, здійснює автоматичне регулювання потужності РП з метою забезпечення заданих вихідних характеристик. Система формування керуючих впливів реалізує число-імпульсне керування та формує послідовність керуючих імпульсів для силових транзисторів мостового резонансного інвертора.

Для реалізації віддаленого контролю в системі формування керуючих впливів передбачено блок прийому/передачі для Bluetooth/Wi-Fi та блок підключення до інтерфейсу RS485.

Висновки: Проаналізовано структуру резонансного перетворювача постійної напруги. Запропоновано структурну схему системи керування, яка реалізує дистанційне керування резонансним перетворювачем постійної напруги. Впровадження в технологічний процес системи керування, що має запропоновану структуру, дозволяє уникнути небезпеки для оператора. Також проведено порівняльний аналіз інтерфейсів для реалізації віддаленого контролю перетворювачем.

Список використаних джерел:

1. Браун, М. Источники питания. Расчет и конструирование [Текст] / М. Браун – Киев: «МК-Пресс», 2007– 288 с.

2. Павлов Г.В. Перетворювачі постійної напруги на основі резонансних інверторів [текст]/ Г.В. Павлов, А.В. Обрубов, О.В. Нікітіна, М.В. Покровський/ Миколаїв: НУК, 2013, 378 с.

3. «Wi-Fi та Bluetooth» [Електронний ресурс]/ Режим доступу: https://myhelpit.ru/in dex.php?id=55

УДК 621.373.52

Герасин А.С., Килиманов Б.А.
Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев

«Умный» почтовый ящик, как компонент «Умного дома»

Несмотря на стремительное развитие информационных технологий в современном мире, классическая почта остается популярным официальным сервисом для ведения корреспонденции – доставки писем, уведомлений, посылок. Однако на проверку наличия почты в почтовом ящике может уйти немалое количество времени и усилий в силу отсутствия информации о визите почтальона. Следовательно, такой компонент «Умного дома» как «Умный» почтовый ящик» может быть полезен для информирования адресата о появлении новых писем при наличии у последнего доступа к электронной почте.

Один из первых прототипов такого ящика представила в марте 2015 года компания «Google» [2], но проект очень сложен в реализации. «Smartbox» от «Inbox» – это более «умный» почтовый ящик, который объединяет физическую почту и электронную почту, анализирует, какое количество почты было получено, идентифицирует почту. Но «Smartbox» в настоящее время проходит испытания. Также на рынке Китая присутствуют почтовые ящики с сенсорными кодовыми замками. Однако такие ящики не решают проблему определения наличия почты, т.к. они не оснащены соответствующими датчиками. Недостатком указанных выше «умных» почтовых ящиков являются их цена и габариты.

Цель работы – разработка объекта «Умный» почтовый ящик», тестовая отладка данного устройства, анализ полученных результатов и выдача рекомендаций по усовершенствованию готового изделия.

Концепция «Умного» почтового ящика» предполагает возможность оповещения адресата о наличии корреспонденции и писем в любой точке мира, при условии наличия интернета, что делает такой ящик одним из возможных компонентов «Умного дома» [1, 4]. В докладе подробно рассматривается его аппаратная реализация при помощи NodeMcu V3 LuaWiFi модуля (ESP8266, ESP-12E) и датчика движения HC-SR501. Программное обеспечение разработано в среде программирования «ArduinoIDE», а пользовательский интерфейс – в облачном сервисе «Blynk» [3]. Во время испытаний данный «Умный» почтовый ящик показал отличные результаты по дальности связи устройства с домашней сетью 50 (+/- 10%) метров, стабильно проработал 10 дней без сбоев и неполадок. Также проводились дополнительные исследования корректности работы экспериментального образца – для серии из 50 тестов 46 оказались положительные (ошибка – 8%).

В сравнении с почтовым ящиком из Китая, цена которого достигает 60$, то данный «Умный» почтовый ящик, в комплектацию которого входит корпус, оборудование и элемент питания, может обойтись от 22$ (в зависимости от корпуса и питания), что является существенным преимуществом предлагаемой системы. Кроме того, такая реализация потребляет ток 20-60 мА, и она очень компактна – все элементы могут поместиться в любой существующий классический почтовый ящик. В то же время, в качестве недостатков предложенного способа информирования можно отметить обязательное наличие Wi-Fi сети (при этом максимальная дальность, на которой может находиться почтовый ящик от Wi-Fi точки доступа, составляет 50 м) и невысокую безопасность (сигнал могут перехватить).

Вывод: Разработанный «Умный» почтовый ящик», являющийся компонентом «Умного дома», во время испытаний доказал свою высокую эффективность и преимущества перед аналогами. В дальнейшем планируется оснастить ящик замком с дистанционным управлением, оптимизировать код управляющей программы для увеличения быстродействия и скорости передачи данных, добавить функцию распознавания полученной почты и защиту от рекламы, повысить защищенность от вмешательства извне.

Список использованных источников

1. Л. Ш. Кадырова. «УМНЫЙ ДОМ»: ИДЕОЛОГИЯ ИЛИ ТЕХНОЛОГИЯ». МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЖУРНАЛ, ISSN 2303-9868, №5 (12), 2013, часть 3, с. 86-87.
2. Smartbox by Inbox: the mailbox of tomorrow, today. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://blog.google/products/gmail/smartbox-by-inbox-mailbox-of-tomorrow/
3. Blynk IoT platform. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://blynk.io/
4. Б.О. Кіліманов, О.С. Герасін. Основні поняття та аналіз системи «Розумний будинок» // Автоматика та електротехніка, 15-16 листопада, Миколаїв, Україна, 2018, Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. − Миколаїв: НУК, 2018. – С. 8 – 9.

УДК 681.2.089

Тарабцев М. В., студент группы 3341
Герасин А. С., преподаватель кафедры КСУ
Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ПРИЖИМНОГО УСИЛИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

В процессе эксплуатации судна нередко возникает необходимость в техническом обслуживании. Корпус корабля проходит тщательный осмотр на предмет целостности каждые пять лет, который, при необходимости, включает в себя ремонт, очистку, покраску внешней части корпуса и другие технологические операции [1]. Выполнение данных работ связано с определенными рисками для жизни и здоровья обслуживающего персонала. Для предотвращения рисков, а также повышения производительности используют мобильных роботов (МР). Для удержания робота на наклонной поверхности необходимо использовать соответствующие прижимные устройства. Учитывая ферромагнитную природу корпуса большинства судов целесообразно использовать мощные прижимные электромагниты. При перемещении МР по криволинейной поверхности корпуса изменяется угол наклона рабочей поверхности, следовательно, для обеспечения надежной работы робот нуждается в постоянном контроле прижимного усилия. Для решения данной задачи предлагается отслеживать угол наклона поверхности, относительно вектора силы тяжести робота, с помощью акселерометра и гироскопа с последующим расчетом требуемой прижимной силы для его удержания.

В работе [2] представлена математическая модель колёсного робота, движущегося по наклонной поверхности. Данная математическая модель позволяет рассчитать силы, действующие на робота, и изменить траекторию его движения с целью противодействия соскальзыванию его с наклонной поверхности. При этом автор предполагает движение исключительно по поверхности с малым углом наклона. В то же время, наибольший интерес представляет расчет силы притяжения робота к поверхности, позволяющей воспрепятствовать соскальзыванию, с учетом любого угла наклона.

Цель работы. Определение зависимостей требуемого прижимного усилия МР к рабочей ферромагнитной поверхности от угла ее наклона и выбор инструментальных средств его контроля.

Первоочередной задачей для определения необходимой прижимной силы является определения угла наклона поверхности, относительно вектора силы тяжести. В докладе рассмотрена ситуация положения МР в неподвижном состоянии на наклонной поверхности. Для решения задачи расчета минимальной требуемой силы для удержания робота нужно рассмотреть четыре возможных варианта:

1) робот находится над поверхностью, вектор силы реакции опоры N которой расположен нормально к поверхности и параллелен вектору силы тяжести $F_т$ (рис. 1);
2) робот находится под поверхностью, вектор силы реакции опоры N которой расположен нормально к поверхности и параллелен вектору силы тяжести (рис. 2);
3) робот находится на наклонной поверхности (угол наклона - β), вектор силы реакции опоры N которой не параллелен вектору силы тяжести (рис. 3);
4) робот находится под наклонной поверхностью (угол наклона - β), вектор силы реакции опоры N которой не параллелен вектору силы тяжести (рис. 4).

Очевидно, что в первом случае угол наклона рабочей поверхности (равен углу между силами $F_т$ и $F_м$) β = 0° (рис. 1), сила удержания робота магнитом $F_м$, рекомендуемо, должна быть равна нулю (при отсутствии возмущающих воздействий), тогда $F_м = 0$.

Во втором случае угол β = 180° (рис. 2). Принимая условия сцепления аналогичными как в первом случае, сила удержания F_M по модулю должна быть не менее силы тяжести F_T. С учетом коэффициента запаса k значение требуемой силы удержания F_{MK} определяется как $F_{MK} = F_M k$ (k определяется экспериментально).

В третьем случае (рис. 3) -90° < β ≤ 90°, β ≠ 0°. Проецируя силы на координатные оси, получается система уравнений:

$$OX: \; F_т \sin\beta - F_{тр} = 0;$$

$$OY: \; N - F_м - F_т \cos\beta = 0,$$

где $F_т = m \cdot g$, $F_{тр} = \mu \cdot N$, m – масса тела, g – ускорение свободного падения, μ - коэффициент трения (определяется экспериментальным путем или с помощью специального устройства для измерения коэффициент трения [3]). После преобразований получится следующая зависимость:

$$F_м = mg\left(\frac{\sin\beta}{\mu} - \cos\beta\right); \quad F_{мк} = F_м k.$$

В четвертом случае (рис. 4) 90° < β ≤ 270°, β ≠ 180°. Проецируя силы на координатные оси, получается система уравнений:

$$OX: \; F_т \sin(\beta - 180) - F_{тр} = 0;$$

$$OY: \; F_м - N - F_т \cos(\beta - 180) = 0,$$

откуда

$$F_м = mg\left(\frac{\sin(\beta - 180)}{\mu} + \cos(\beta - 180)\right); \quad F_{мк} = F_м k.$$

В качестве инструментальных средств для расчета и контроля требуемых значений прижимных усилий в режиме реального времени предлагается использовать совмещенный модуль акселерометра и гироскопа.

В качестве датчика положения робота предлагается применить модуль GY-9250 на основе микросхемы MPU-9250, в состав которого входят трёхосевой гироскоп, трёхосевой акселерометр, трёхосевой магнитометр и цифровой процессор Digital Motion Processor (DMP™). Кроме самих датчиков и процессора, в состав MPU9255 входят различные аналоговые и цифровые блоки: цепи нормирования и 16-битные АЦП на каждом измерительном тракте, система питания, регистры, коммуникационные интерфейсы и буфер FIFO. Кроме девяти основных сенсоров, микросхема содержит датчик температуры. Для взаимодействия с внешним управляющим процессором используются стандартные интерфейсы I2C и SPI. Кроме того, MPU9255 поддерживает пять режимов прерываний: обнаружение движения, переполнение FIFO, окончание преобразования, ошибка шины I2C, от сообщения по I2C [4-5].

Важным свойством предложенного датчика является возможность прерывания при обнаружении движения – MPU9255 позволяет настраивать каждый канал, как источник прерывания с программированным уровнем срабатывания. Кроме того, MPU9255 имеет аппаратную поддержку таких функций, как: ориентация Android-устройств, касание экрана, педометр, режим резких движений [4-5].

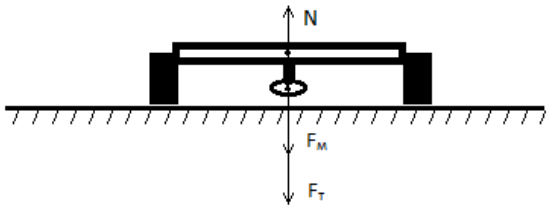


Рис. 1.

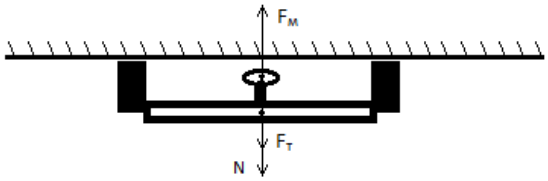


Рис. 2.

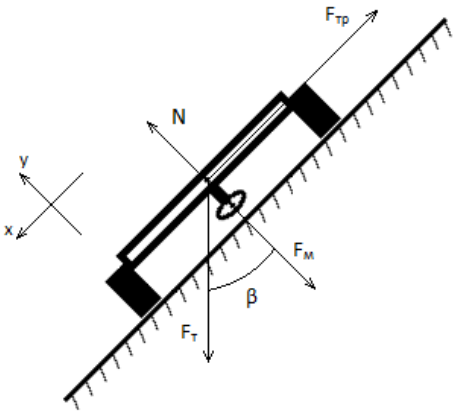


Рис. 3.

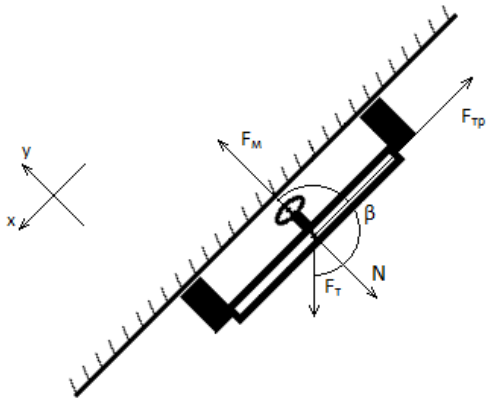


Рис. 4.

Выбранный модуль датчика положения позволяет получать результаты измерений несколько десятков раз в секунду (50 - 100), при этом возможно оперативно реагировать на отклонение вертикальной оси робота от вектора ускорения земного притяжения, изменяя силу притяжения магнита к поверхности судна. Для более эффективного использования датчика периодически необходимо проводить его калибровку [6].

Для экспериментальной проверки теоретических зависимостей можно использовать запатентованный МР для механической очистки судна [7] при замене постоянных прижимных магнитов электромагнитами и оснащения платформы модулем датчика положения.

Вывод. Предложенный подход может быть использован для контроля прижимного усилия робота к поверхности при условии заданного коэффициента трения и его постоянства в пределах обрабатываемой МР ферромагнитной поверхности. Для контроля пространственного положения МР на поверхности выбран модуль датчика положения, позволяющий с высокой точностью определять угол в режиме реального времени. В дальнейшей работе целесообразно провести серию экспериментов для определения коэффициентов трения μ и коррекции k прижимного усилия F_{MK} с помощью экспериментальной модели МР.

Список использованных источников

1. Hull Cleaning and Inspection Robot [Text] / Fugro Subsea Services Limited – Rev 1 – Aberdeen: Fugro 2014.
2. Лыков А.С. Математическая модель движения четырехколесного мобильного робота на наклонной поверхности [Текст] // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований ‘2013». – Выпуск 1. Том 1. – Одесса: «КУПРИЕНКО», 2013 – 134 с.
3. Способ определения коэффициента трения покоя поверхностных слоев материала. Декларационный патент Российской Федерации на полезную модель МПК G01N19/02 [Текст] / В. В. Измайлов, А. Ф. Гусев, Нестерова И. Н., А. А. Иванова - № 2150688; заявл. 25.12.1998; опубл. 10.06.2000.
4. MPU-9255 Register Map and Descriptions [Електронний ресурс] / V 1.0 – 2014 - 42 стр. // Режим доступу: https://www.waveshare.com/w/upload/d/d9/RM-MPU-9255.pdf
5. MPU-9255 Product Specification [Електронний ресурс] / V 1.0 – 2014 - 54 стр. // Режим доступу: http://stanford.edu/class/ee267/misc/MPU-9255-Datasheet.pdf
6. Санников С. Р. Калибровка роботов [Текст] / С. Р. Санников – Казань: «Молодой ученый» — 2015. — №24. — С. 189-191.
7. Мобільний робот для механічного очищення корпусу судна. Деклараційний патент України на корисну модель МПК B25J 19/00 [Текст] / В. О. Кушнір, Ю. П. Кондратенко, А. М. Топалов, О. С. Герасін - № 100341; заявл. 05.01.2015 ; опубл. 27.07.2015, Бюл.№ 14.

СЕКЦІЯ 2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

УДК 62-347

Білюк І. С., Савченко О. В., Шарейко Д. Ю., Фоменко А. М.,Ольшевський С. І.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КРОКОВИМИ ДВИГУНАМИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

Крокові двигуни широко використовуються у сучасних електромеханічних системах [1]. Для комплектних електроприводів у верстатах з ЧПК актуальним є питання створення уніфікованого блоку, за допомогою якого можна керувати такими двигунами по трьом осям від ЧПК через інтерфейс RS-232, USB та під'єднання через паралельний порт. Також керування системою у ручному режимі.

Цей блок відноситься до промислових роботів та верстатів і може бути використаний в інших технічних пристроях електромеханічних систем керування з крокovими двигунами. Отже ставиться задача − створити систему автоматичного керування крокovими двигунами по трьох осях координат за допомогою персонального комп'ютера та в ручному режимі. Базова система керування крокovими двигунами, містить мікроконтролер, кнопки керування, сигнальні світлодіоди, система транзисторних підсилювачів та роз'ємів зовнішніх підключень [1, 2]

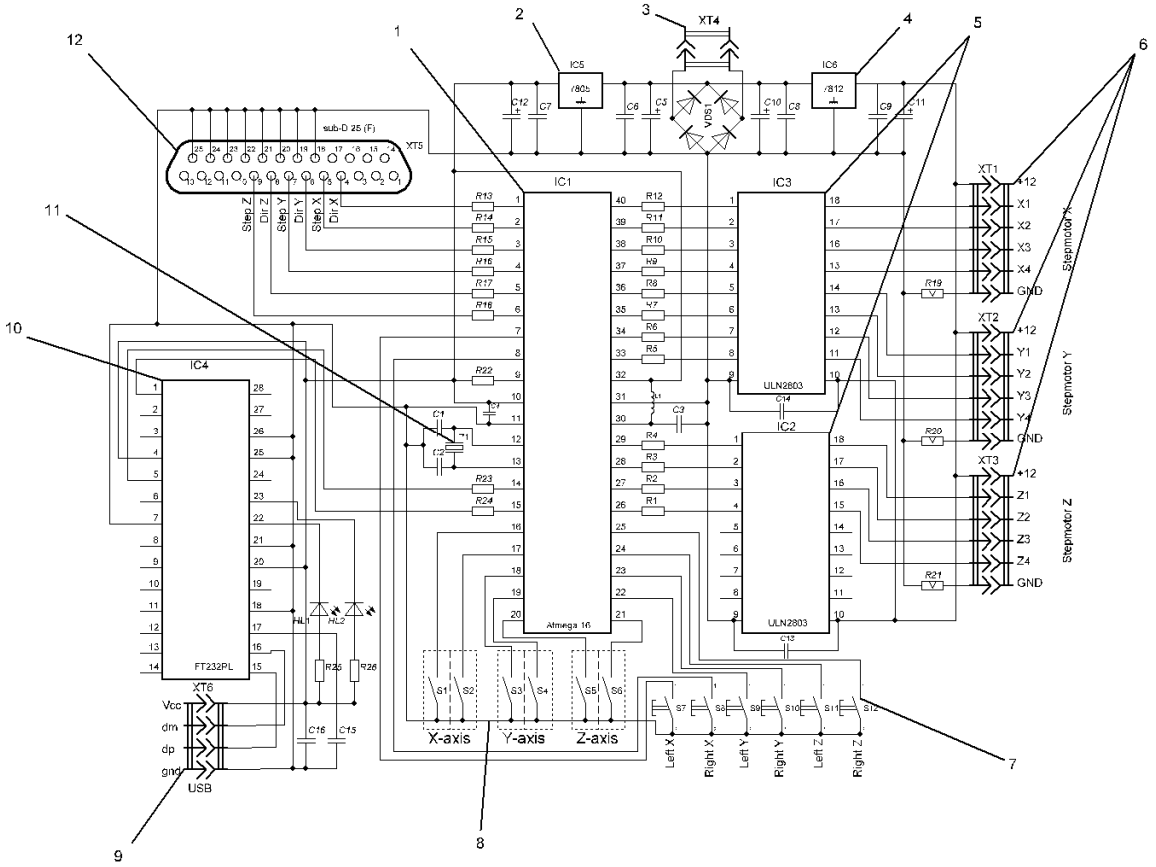


Рис. 1. Принципова схема системи керування крокovими двигунами

У роботі [3] запропоновано систему керування крокovими двигунами, яка містить більш потужний мікроконтролер Atmega16, який має більше портів вводу та виводу і більший об'єм пам'яті. Додано керування мікроконтролером через паралельний порт LPT та інтерфейс RS-232 з використанням мікросхеми FT232RL. Також виведені шість кінцевих вимикачів для осей X, Y, Z.

Система автоматичного керування складається з принципової схеми на рисунку 1, на якій розташовані мікроконтролер Atmega16 – 1, лінійний стабілізатор напруги L7805 – 2, зовнішній роз'єм живлення – 3, лінійний стабілізатор напруги L7812 – 4, транзисторні збірки uln2803 – 5, роз'єми підключення крокових двигунів – 6, кнопки ручного керування – 7, кінцеві вимикачі осей X, Y, Z – 8, роз'єм USB-B – 9, мікросхема послідовного порту FT232RL – 10, кварцевий резонатор – 11, роз'єм паралельного пору LPT – 12.

Висновок: Запропонована схема на відміну від вже існуючих має модульність конструкції, що притаманно саме комплектним електроприводам, забезпечується живленням від єдиного джерела, дозволяє легко замінювати елемент, що вийшов з ладу та перепрограмовувати мікроконтролер.

Список використаних джерел

1. Пат. № 114218 Система керування кроковими двигунами. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисну модель 10.03.2017., Бюл. № 5 Винахідники: Савченко О.В., Шарейко Д.Ю., Фоменко Л.А., Білюк І.С., Фоменко А.М., Ярохін О.В.

2. Пат. 122376. Україна. Система керування кроковими двигунами / О. В. Савченко, І. С. Білюк, А. М. Фоменко, Д. Ю. Шарейко, С. І. Ольшевський, Л. А Фоменко (Україна). – Заявл. 10.05.2017 ; опубл. 10.01.2018, Бюл. № 1.

3. Пат. 124791. Україна. Система керування кроковими двигунами для промислового технологічного обладнання з числовим програмним керуванням/ О. В. Савченко, І. С. Білюк, А. М. Фоменко, Д. Ю. Шарейко, С. І. Ольшевський, Л. А Фоменко, П. Є. Лебедушко. Заявл. 27.10.2017 ; опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8

УДК 621.395.66

Білюк І. С., Савченко О. В., Шарейко Д. Ю., Фоменко А. М.,Ольшевський С. І.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

БЛОК ЖИВЛЕННЯ СИЛОВИХ КІЛ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Жорсткість статичних характеристик електромеханічних систем керування здебільшого залежить від стабільності блоку живлення [1]. Саме тому задача вдосконалення пристрою, з метою підвищення якості його роботи та надійності є актуальною.

Пропонується лабораторний стенд з дослідження елементів систем автоматики, промислових роботів, верстатів з ЧПК. Він може бути використаний в інших технічних пристроях електромеханічних систем керування електроприводами [2]. Відомий блок живлення лабораторного стенду, побудований за допомогою діодних мостів і фільтрів з електролітними ємностями, транзисторних ключів, та трансформатору живлення на тороїдальному магнітопроводі з робочою частотою 50 кГц. [1, 2]. Проте вхідна потужність його дуже обмежена, а також захист від перевантаження відсутній. Отже ставилася задача − створити блок живлення силових кіл лабораторного стенду потужністю від 500 до 4000 Вт, в якому було додано захист від пускового струму та захисту від перевантаження за струмом.

У роботі [3] запропоновано вдосконалену схему блоку живлення силових ланцюгів лабораторного стенду, принципова схема якого представлена на рис.1. У блоці живлення було використано мікросхему IRS2453D, для мостового підключення силових транзисторів, що дозволяє використовувати блок живлення для великих потужностей.Також доданий блок реле з таймером, елементи C4, VDS1, C7, C8, C11, C12, C13, C16, VD2, VD8, HL1, IC1, IC3, VT2, Rel1, R7, R8, R13, R14 (рис.1). Він виконує функцію плавного пуску, котрий обмежує пусковий струм. При підключенні блоку живлення до мережі, струм обмежується резистором R5, через який заряджаються ємності C1, C2, і коли зарядка завершується і струм живлення знижується до номінального значення, проходить замикання контактів реле Rel1, і вони шунтують резистор R5, тим самим запускаючи блок живлення на повну потужність. В схемі використаний блок захисту за струмом, який реалізовано на транзисторі VT1 та резисторі R3, який служить датчиком струму. У разі перевищення допустимого струму збільшується напруга на резисторі R3 та відкриває транзистор VT1, який шунтує вивід SD міросхеми IC2 на землю, і це призведе до зупинки роботи мікросхеми та закриттю силових транзисторів. Також на силовому виході трансформатора використовується напівмостова схема підключення діодів з середньою точкою.

Система автоматичного керування складається з принципової схеми на рис.1, на якій розташовані: вхідний діодний міст з фільтром – 1, таймер затримки – 2, реле – 3, тороїдальний трансформатор на феритовому магнітопроводі – 4, вихідні діодні мости з фільтром – 5, лінійні стабілізатори напруги – 6, транзисторні ключі – 7, мікросхема IRS2453D – 8, блок захисту – 9.

Покращення компактності, надійності та довговічності системи досягається за рахунок використання таймерів затримки навантаження на вході блоку живлення та використання блоку захисту за струмом.

Висновок: Блок живлення, що пропонується, має стабільні статичні характеристики, які не спотворюються навантаженням та можуть бути застосовані не лише в лабораторних стендах з дослідження систем автоматики, а і у промислових роботах, верстатах з ЧПК та інших пристроях електромеханічних систем керування електроприводами.

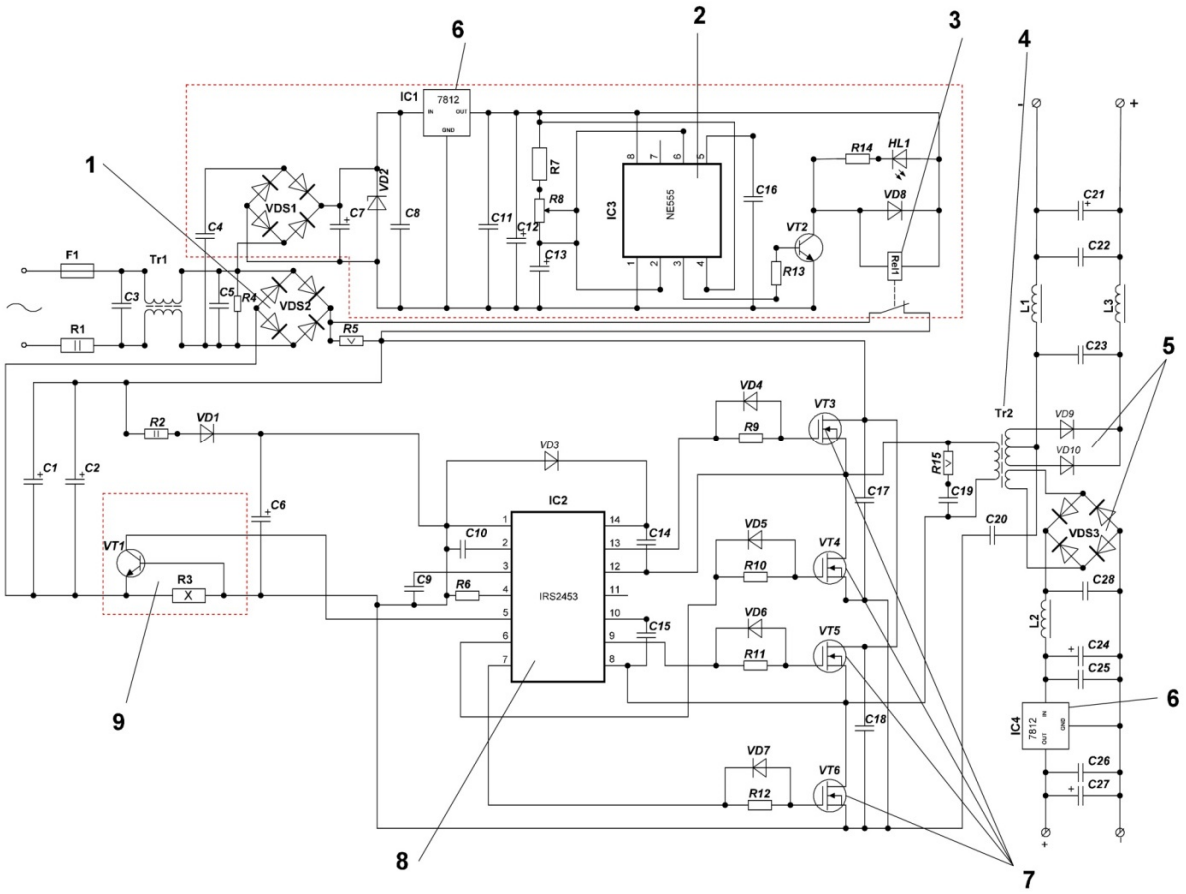


Рис. 1. Вдосконалена схема силових кіл блока живлення лабораторного стенда

Список використаних джерел

1. Пат. №117658 Україна, МПК G05B 23/02 (2006.01) Блок живлення лабораторного стенда / Савченко О.В., ШарейкоД.Ю., Фоменко А.М., Білюк І.С., Ольшевський С.І., Фоменко Л.А., Ярохін О.В., заявник та патентовласник Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова. – № u201605992, заявл. 02.06.2016; опубл. 10.07.2017, бюл. № 13.

2. Пат. 126422. Україна. Блок живлення лабораторного стенда / О. В. Савченко, І. С. Білюк, Д. Ю. Шарейко, А. М. Фоменко, С. І. Ольшевський, Л. А. Фоменко, О. В. Майборода (Україна). – Заявл. 27.10.2017 ; опубл. 25.06.2018, Бюл. № 12.

3. Заявка на патент u 2018 10861 від 02.11.2018. Блок живлення силових ланцюгів лабораторного стенда / Савченко Олег Валерійович, Білюк Іван Сергійович, Шарейко Дмитро Юрійович,Фоменко Андрій Миколайович, Ольшевський Сергій Іванович, Гаврилов СергійОлексійович, Фоменко Ліліана Андріївна, Бугрім Леонід Іванович (Україна). Рішення про видачудекларацийного патенту на кориснумодель№ 1663/3У/19 від 22.01.2019.

УДК 621.316.71

Васильєв О. Г., к.т.н., доцент, Петруня М. П., Матюшин Ю. С., Танасевич В. І.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

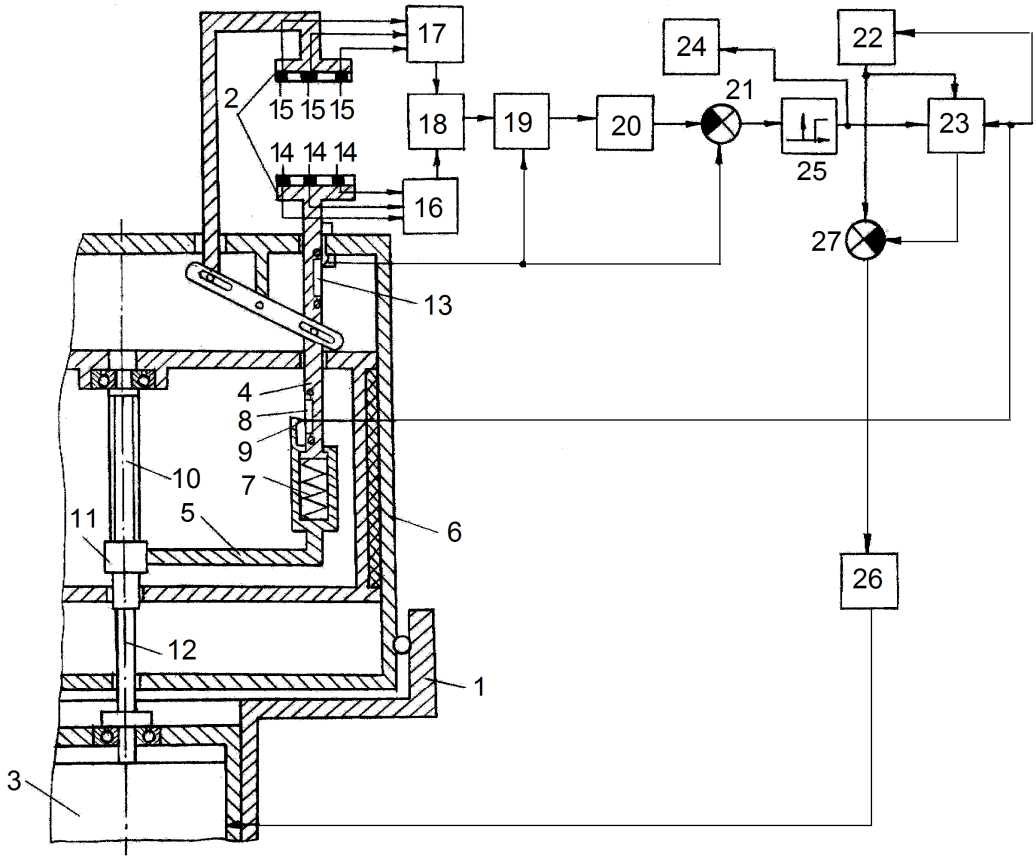
ПРИСТРІЙ КЕРУВАННЯ ЗУСИЛЛЯМ ЗАХВАТНОГО ПРИСТРОЮ МАНІПУЛЯТОРА

Найбільш широко в конструкціях сучасних промислових роботів використовують механічні захватні пристрої з двома жорсткими губками, які переміщаються в одній площині. Простота та надійність цих конструкцій визначила їх широке застосування в промислових роботах найрізноманітнішого призначення. Однак при роботі з захватними пристроями з жорсткими губками при встановленні деталей в обладнання нерідко виникають значні перевантаження в конструкції, що веде до швидкого зносу елементів захватного пристрою, що труться, та до дефектів оброблюваних деталей [2].

Мета роботи. В пропонованій роботі розглядається система керування електромеханічного захватного пристрою з жорсткими губками, яка забезпечує швидке переміщення губок захватного пристрою до зіткнення з деталлю, а потім затиск її з необхідним для утримання зусиллям.

Матеріал і результати дослідження. Об’єктом удосконалення є захватні пристрої типу СО1-СО7, які використовуються в роботах типу М10П для завантаження та розвантаження деталей токарних верстатів з числовим програмним керуванням [3].

Запропонований захватний пристрій керування зусиллям електромеханічного захвата представлений на рисунку 1.



1-корпус; 2-затискні губки; 3-привод; 4-шток; 5-кінцева ланка; 6-головка; 7-пружний елемент; 8-перший датчик положення; 9-движок датчика 8; 10-гвинт4; 11-гайка; 12-вал; 13-другий датчик положення; 14, 15-тактильні датчики; 16, 17-перший і другий конічні елементи; 18-логічний елемент "І"; 19-перший ключ;

20 -запам'ятовувальний пристрій; 21-другий елемент порівняння; 22-програмний пристрій; 23-другий ключ; 24-індикаторний пристрій; 25-граничний елемент; 26-підсилювач; 27-перший елемент порівняння

Рис. 1. Пристрій керування зусиллям електромеханічного захвата

Пристрій дозволяє забезпечити на захваті маніпулятора задане програмне зусилля й запобігає руйнуванню об'єкта маніпулювання [1].

Пристрій працює в такий спосіб: після подачі на вхід першого елемента порівняння 27 сигналу U з виходу програмного пристрою 22, на вході підсилювача 26 також з'являється сигнал, який, підсилившись по потужності, надходить на вхід привода 3, що складається з електродвигуна з редуктором.

Сигнал, що надійшов на двигун, приводить його в рух і в результаті в рух приводиться кінцева ланка 5 привода. При цьому сигнал, що надійшов на вхід двигуна, буде мати знак, необхідний для переміщення ланки 5 нагору.

Якщо захватні важелі 2 ще не торкаються об'єкта, то під дією пружного елемента 7, механічно зв'язаного з ланкою 5 і штоком 4, відбудеться їхнє змикання до дотику об'єкта.

Після дотику об'єкта важелями відбувається замикання хоча б по одному з тактильних датчиків 14 і 15. У результаті на виході елемента 18 з'являється сигнал, який розмикає перший ключ 19. При цьому в запам'ятовувальному пристрої 20 запам'ятовується сигнал Uвих з виходу другого датчика положення 13, відповідний до положення цього датчика в момент дотику об'єкта [4,5]. Оскільки в момент дотику об'єкта захватом на виході другого елемента порівняння 21 надходять сигнали, рівні по величині й протилежні за знаком, то на вхід граничного елемента 25 буде надходити нульовий сигнал. У результаті другий ключ 23 буде з'єднувати вихід першого датчика положення 8 із другим (негативним) входом першого елемента порівняння 27. До моменту дотику об'єкта обома захватними важелями, ключ 23 буде замкнений у зазначеному положенні, оскільки на обидва входи другого елемента порівняння 21 до відключення першого ключа 19 будуть подаватися однакові по величині сигнали. У результаті, на виході граничного елемента 25 сигнал буде відсутній.

У момент дотику захватними важелями деталі, перший датчик положення 8 буде знаходитися практично в нейтральному положенні й, отже, на його виході сигнал буде відсутній (дорівнює нулю).

У результаті на вхід підсилювача 26 від програмного пристрою 22 буде надходити сигнал, який буде забезпечувати переміщення кінцевої ланки 5.

Якщо припустити, що захоплюваний об'єкт не стискаємий, то, при переміщенні ланки 5 нагору шток 4 буде знаходитися в спокої. У результаті, на виході першого датчика положення 8 з'явиться ненульовий сигнал, який починає зменшувати сигнал, що подавався на вхід підсилювача 26. Переміщення ланки 5 нагору буде відбуватися доти, поки на виході елемента порівняння 27 не відбудеться обнуління сигналу. А обнуління сигналу відбудеться лише тоді, коли движок датчика положення 8, що перемістився, забезпечить появу на виході цього датчика напруги, рівної напрузі сигналу, що задає, з виходом програмного пристрою 22. Після зупинки ланки 5 пружний елемент 7 буде стиснутий на величину, обумовлену величиною сигналу з виходу програмного пристрою. Зусилля стиснутого пружного елемента через шток 4 буде передаватися захватними губками 2, які забезпечать програмний стиск деталі.

Сигнал зворотного зв'язку з датчика положення 8 надходить на третій вхід програмного пристрою 22. Тому, після відпрацьовування приводом 3 заданого вхідного впливу, програмний пристрій 22 видасть команду на виконання наступної операції.

Величина вихідного сигналу, що подається із програмного пристрою на вхід першого елемента порівняння, визначає зусилля затиску при захоплюванні об'єкта й залежить від жорсткості пружного елемента 7. При цьому, габаритні розміри об'єкта ніякого впливу на величину вихідного сигналу не виявляють, тому що стиск елемента 7 починається тільки після дотику об'єкта затискними губками незалежно від того, коли цей дотик відбудеться.

Якщо після дотику об'єкта захватними губками відбудеться його деформація, то важелі почнуть стискуватися й на виході другого датчика положення 13 відбудеться зміна вихідної напруги убік його збільшення. У результаті на виході другого елемента порівняння 21 з'явиться позитивний сигнал, який, при деякій величині деформації деталі, приведе до спрацьовування граничного елемента 25 і, отже, перемиканню другого ключа 23 на вихід програмного пристрою 22.

Таким чином, на виходи першого елемента порівняння 27 надійдуть рівні по величині сигнали, що у свою чергу призведе до зупинки привода 3, а значить і до припинення стиску об'єкта.

Оскільки стиск об'єкта припиниться достроково й здійсниться не повною мірою, то сигнал зворотного зв'язку з виходу першого датчика положення 8 не досягнеться необхідної величини. У результаті, на вхід програмного пристрою потрібний сигнал про виконання завдання не надійде. Отже, не відбудеться й подальшого виконання операції.

Для розтиску захватних важелів у випадку, якщо не відбулося аварійного останову, досить обнулити сигнал з виходу програмного пристрою 22.

Висновки. Запропонований захватний пристрій дозволяє без будь-якої переналадки закріплювати деталі в певних межах габаритів та ваги, в тому числі тонкостінні та пластмасові.

Список використаних джерел

1. А.С. N1266733, кл. В25 У15/50. 1986. Устройство управления усилием схвата манипулятора.

2. Бурдаков С.Ф. Проектирование манипуляторов промышленных роботов ироботизированных комплексов / С.Ф. Бурдаков, В.А. Дьяченко, А.Н. Тимофеев.–М.Высшая школа, 1986.– 264с.

3. Инструкция по эксплуатации промышленного робота М10П.62.01.

4. Кондратенко Ю. П. Адаптивные робототехнические системы / Ю. П. Кондратенко, А. Н. Ткаченко / Николаев 1985. 51 с.

5. Юревич Е. И. Сенсорные системы в робототехнике : учеб. пособие / Е. И. Юревич. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. — 100 с.

УДК 621.316.71

Білюк І. С. к.т.н. доцент, Жажка А. Р., Проценко В. С., Оружак І. В.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

СИНТЕЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Більшість деталей, що необхідні для виробництва машин та механізмів, проходить обробку на металорізальних верстатах. Ефективність процесів металообробки визначається успішністю отримання деталей з заданими формою, розмірами і якістю поверхні на наявних у підприємства верстатах при мінімально можливих витратах часу, коштів і енергії. Від ефективності процесів металообробки залежить конкурентоспроможність продукції підприємства в цілому. Ефективність металообробки залежить від багатьох факторів, зокрема на від зміни величини припуску, що знімається, твердості заготівки, що обробляється, і стану інструмента. Одним з шляхів підвищення якості оброблюємих деталей є керування під час обробки швидкостями робочих рухів верстатів [1, 2].

У повідомлені розглянуто питання синтезу систем керування електроприводів робочих органів верстатів з ЧПК з урахуванням вимог до якості обробки деталей.

Визначено можливість застосування сучасних перетворювачів частоти для керування електроприводами металорізальних верстатів з метою підвищення ефективності процесів металообробки. Проналізовані особливості окремих моделей перетворювачів частоти [3-5].

Проведено розрахунок параметрів налагодження регуляторів електроприводів подач та головного руху, розроблено імітаційні моделі та отримані перехідні характеристики синтезованих систем керування. Виконано порівняльний аналіз показників якості роботи базових електроприводів та модернізованих з застосуванням частотних перетворювачів.

Аналіз динаміки систем керування показав, що вони здатні забезпечити точне регулювання швидкості з урахуванням вимог до якості обробки деталей.

Висновки. Застосування сучасних перетворювачів частоти для керування електроприводами металорізальних верстатів дозволяє: 1) підвищити ефективність процесів металообробки; 2) керувати роботою електроприводів верстаів в програмному режимі; 3) підвищити точність регулювання частоти обертання електроприводів робочих органів верстатів.

Список використаних джерел

1. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов —М. : Академия, 2007. — 576 с.

2. Ловыгин А.А., Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система / Ловыгин А.А., Теверовский Л.В. - М.:ДМК Пресс, 2015. - 280 с.

3. Приводная техника в Украине Lenze [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.lenze.org.ua/.

4. Перетворювачі частоти Siemens [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://new.siemens.com.ua/.

5. Частотні перетворювачі Delta [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://eltaltd.com.ua/.

УДК 621. УДК 681.5; 621.3.067

Бугрім Л.І. к.т.н. доцент, Кравченко В. С.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА

Основною вимогою до технологічного процесу виготовлення комбінованих сумішей є дотримання дозування кожного компонента із заданою точністю. Зазвичай кожен компонент суміші переміщується окремим шнековим дозатором [1, 2]. У якості електропривода дозатора пропонується застосувати асинхронний двигун зі скалярним керуванням від перетворювача частоти [3].

Запропонована система керування здатна підвищити якість приготування комбінованих сумішей, забезпечити вимагаєму точність дозування та оптимальний режим роботи електропривода дозатора при максимальній продуктивності. Налагодження системи на програмному рівні зебезпечує необхідні витрати за параметром регулювання продуктивності, зміну величини витрат при зміні значення параметрів компонентів суміші,

потрібну стійкість дозування.

Виміряна продуктивність дозатора безперервно порівнюється з заданою, і при виявленні відмінностей через перетворювач частоти здійснюється корекція швидкості обертання шнеку. Для підвищення точності вимірювання витрат компонентів застосовується цифровий регулятор витрат, що має більш високу якість керування у порівняні з аналоговими регуляторами.

У повідомлені розглянуто структуру системи керування електропривода шнекового дозатора. Проведено розрахунок параметрів налагодження регуляторів, розроблено імітаційні моделі та отримані перехідні характеристики синтезованої системи керування. Проведено аналіз отриманих перехідних процесів.

Висновки. Запропонована система керування електропривода шнекового дозатора дозволяє: 1) керувати роботою електропривода в програмному режимі; 2) забезпечити необхідну точність дозування компонентів сумішей; 3) збільшити строк експлуатації електропривода та його енергоефективність за рахунок оптимізації режиму роботи.

Список використаних джерел

1. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов —М. : Академия, 2007. — 576 с.

2. Герман Х. Шнековые машины в технологи / Герман Х. – Л., Химия, 1975. – 232 с.

3. Терехов В.М. Система управления электроприводов / В.М. Терехов, О.И. Осипов – М.: Академия, 2005. – 302 с.

СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ КОМПЛЕКСИ, ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ

УДК 621.311

Александровський С. Ю., Бандура С. І.
Національний університет кораблебудування ім. адм.Макарова, м. Миколаїв

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДАТЧИКА АКТИВНОГО І РЕАКТИВНОГО СТРУМУ

При виготовленні навчальної моделі головного розподільного щита виникли проблеми, пов'язані з неможливістю закупівлі сучасного обладнання. Першою з проблем було те, що реле зворотного потужності наявної моделі не застосовуються з 1980 року. Друга проблема - системи збудження, якими укомплектовані наявні синхронні генератори, не призначені для використання при паралельній роботі. При розробці нових зразків було прийнято рішення максимально здешевити і уніфікувати вузли, з яких буде будуватися нова система. Першим з таких вузлів з'явився датчик активного, для реле зворотного потужності, і реактивного, для системи збудження, струму. У побудові цих датчиків є великий вибір рішень, але серед всіх найбільш вдалим було прийнято вважати застосування синхронного детектора. Як синхронного детектора був застосований комутатор зі зміною знака вихідної напруги (рис.1)

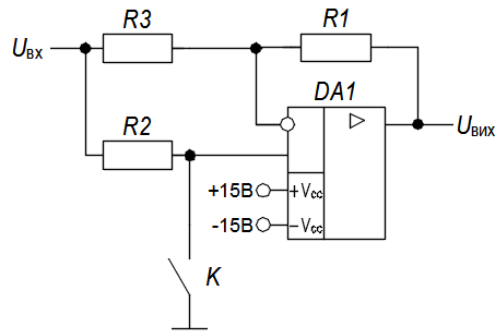


Рис.1.

Принцип дії комутатора полягає в тому, що коефіцієнт посилення инвертирующей частини схеми дорівнює -*R*1/ *R*3, а неінвертуючий –– 1+*R*1/*R*2. Таким чином за умови *R*1 =*R*2=*R*3 і відкритий ключ коефіцієнт посилення схеми дорівнює одиниці, а при закритому, при заземленому неінвертуючий вході операційного підсилювача, мінус одиниці. Якщо вхідний сигнал буде пропорційний току фази *A*, а ключем управляти відповідно до фази напруги U_a, схема буде працювати як датчик активного струму, а якщо відповідно до фази напруги U_{cb} - як датчик реактивного струму (рис.2).

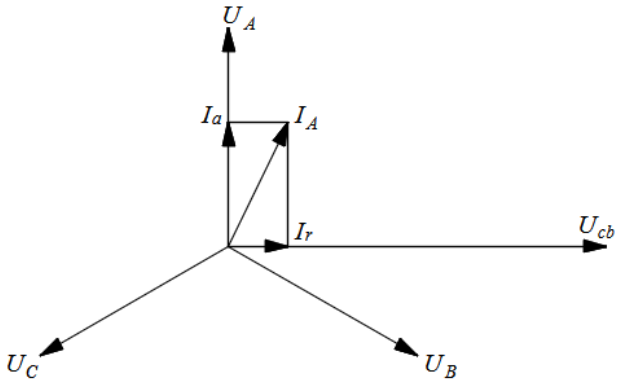


Рис. 2.

Таким чином був розроблений уніфікований датчик, загальна схема якого показана на рисунку 3.

Синхронний детектор виконаний на операційному підсилювачі *DA*1.1, на його вхід сигнал подається з вимірювального підсилювача датчика струму. Як ключ використаний польовий транзистор *VT*1, керований від компаратора *DA*1.2, на вхід якого подається відповідне напруга синхронізації з вимірювального трансформатора. Фільтр нижніх частот, побудований на *DA*1.3, вирівнює пульсації випрямленої синхронним детектором напруги. Оскільки випрямлення виходить двухполуперіодним, частоту зрізу фільтра можна вибрати досить великою, що дозволяє максимально збільшити швидкодію системи. Схема несприйнятлива до наявності постійної складової напруги на вході (виході вимірювального підсилювача) - ця складова перетворюється в двополярний меандр, який не проходить через фільтр, що знижує вимоги до схеми вимірювання струму.

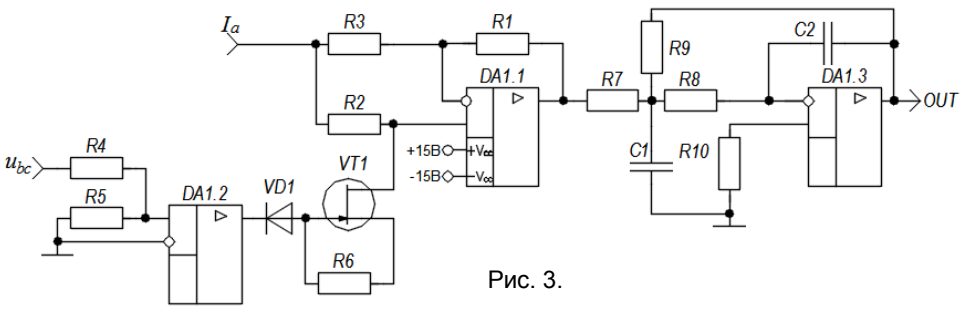


Рис. 3.

Осцилограми напруг при вимірюванні струму з різною фазою показані на рисунку 4.

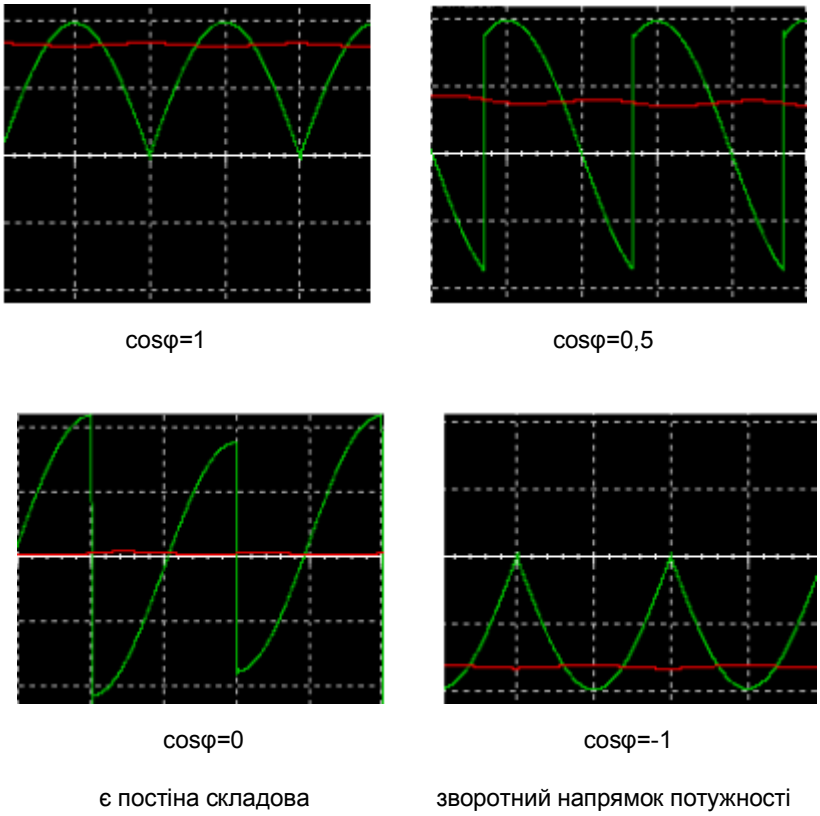


Рис. 4.

Для практичної реалізації використана мікросхема *LM*324, яка містить чотири операційних підсилювача, що дозволило зробити устойство вкрай невеликим за габаритами (розмір плати датчика, без використання *SMD* компонентів, 30х30 міліметрів). Схема не вимагає налагодження і некритична до номіналів елементів, що застосовуються, необхідно лише дотриматися умови, що для вимірювання з точністю не гірше 5% величина опорів *R*1...*R*3 повинна бути мінімум на два порядки більше опору транзистора *VT*1 у відкритому стані. Частота зрізу фільтра для отримання досить малої (5%) амплітуди пульсацій не повинна бути вище 20 Герц. Для спрощення налаштування вузлів, з якими буде працювати датчик, коефіцієнт посилення фільтра бажано вибирати таким, щоб вихідна напруга фільтра дорівнювало діючим значенням вхідного сигналу.

Так для побудови реле зворотного потужності схему досить доповнити компаратором, налаштованим на спрацьовування при негативній напрузі з рівнем на виході датчика, пропорційним 5...10% номінального струму, і реле часу з часом спрацьовування, що встановлюються в діапазоні 1...10 секунд.

Висновки. Запропоновано схемотехнічне рішення та принцип побудови датчика активного / реактивного струму, що може використовуватися системах автоматики головних розподільних щитів.
Реалізація запропонованої схеми в навчальному тренажері суднової електростанції (7шт) довела високу повторюваність і надійність розробки.

Список використаних джерел

1. Гутников В.С. Применение операционных усилителей в измерительной технике [Текст] /В.С. Гутников – Л.: “Энергия”,1975.-120 с.

2. Ulrich Tietze, Christoph Schenk Halbleiter-Schaltungstechnik [Text] / Ulrich Tietze, Christoph Schenk, Berlin, 1993 - 1023 s..

СЕКЦІЯ 4. ПІДВОДНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.056.5

Блінцов О. В.,д.т.н.; Корицький В. І., викладач
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОСТОРОВИМ РУХОМ ТЕЛЕКЕРОВАНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Телекерований підводний апарат (ТПА) є багатовимірним об'єктом керування, динаміка просторового руху якого в загальному виді описується системою нелінійних диференціальних рівнянь [1]. До складу ТПА входять елементи з зосередженими (корпус) та розподіленими (кабель-трос) параметрами, точне визначення параметрів яких ускладнене. Взаємодія складових ТПА із зовнішнім середовищем спричинює збурення (ривки кабель-троса, вплив течії), які додатково ускладнюють керування рухом апарата. Тому автоматизація керування просторовим рухом ТПА в умовах невизначеності є актуальною науковою задачею.

Класичним підходом в теорії автоматичного керування є застосування регуляторів, побудованих на пропорційно-інтегрально-диференціальному (ПІД) законі керування. Однак, даний закон не забезпечує задовільної якості процесів керування нелінійними об'єктами. Тому в закони реальних ПІД регуляторів вносять додаткові складові, які враховують нелінійність об'єкта керування. Наприклад, в [2] представлено систему автоматичного керування (САК) просторовим рухом ТПА на основі ПІД закону з урахуванням гідродинамічного впливу, параметри якого визначаються методом інтервальної лінеаризації. Варто відмітити, що якість процесів керування такої САК суттєво залежатиме від кроку лінеаризації та точності виміру відповідних параметрів.

Керування рухом ТПА із зміною керованих параметрів в широкому діапазоні можна забезпечити за використання нейронечітких алгоритмів [3]. Однак, належну якість процесів керування подібної САК можливо отримати лише за наявності інформації про динамічні характеристики об'єкта керування, визначення яких, зазвичай, ускладнене.

Одним з методів усунення впливу невизначеностей на якість процесів керування є застосування оптимальних наглядачів. Наприклад, в [4] запропоновано САК просторовим рухом ТПА з чотирма ступенями свободи. Вплив натягу кабель-тросу на динаміку руху апарата компенсується оптимальним наглядачем на основі фільтра Калмана, який апроксимує динаміку кабель-троса. Зміна конфігурації рушійного комплекса ТПА може призвести до ускладнення математичної моделі спостерігача. Отже, актуальним залишається питання розробки високоточних САК просторовим рухом ТПА в умовах невизначеності.

В [5] запропоновано закон керування нелінійним об'єктом другого порядку на основі мінімізації локальних функціоналів. Особливістю даного закону є забезпечення високої динамічної точності процесу керування об'єктом в умовах невизначеності без застосування інформації про похідні керованої величини. Для керування просторовим рухом ТПА даний закон набуває наступного вигляду:

$$\left.\begin{aligned} U &= D^{+}\left[\Sigma K\left(E + 2T_r^{-1}E_i\right) + \int_0^t \mathrm{X}dt + C_2\right]; \\ E &= K_V^{-1}\left(R_{\text{з}} - R\right); \quad E_i = \int_0^t E dt + C_1; \\ \mathrm{X} &= \Sigma K T_r^{-2} E_i - HDU; \quad \min(K) > 0; \quad \Sigma = \operatorname{sign}\left(\frac{\partial \ddot{R}}{\partial U}\right), \end{aligned}\right\} \tag{1}$$

де U – матриця сигналів керування; R – матриця позиційних кінематичних параметрів ТПА; $R_{\text{з}}$ – матриця задач керування; K, H – матриці параметрів градієнтного пошуку; T_r – матриця постійних часу еталонної моделі РП; C_1, C_2 – матриці констант інтегрування; D – матриця конфігурації рушійного комплексу ТПА; K_V – матриця зв'язку позиційних та швидкісних кінематичних параметрів ТПА, загальний вигляд якої представлено в [6]. Точкою позначено операцію взяття похідної за часом. Верхнім індексом «+» позначено операцію обчислення псевдооберненої матриці.

Матриця D необхідна для формування матриці сигналів керування U з урахуванням просторової конфігурації рушійного комплексу ТПА [7]:

$$D = \left[d^T \quad r^T \times d^T\right]^T, \tag{2}$$

де d – матриця, компоненти якої характеризують напрями дії зусиль, створюваних рушійними пристроями ТПА; r – матриця, компоненти якої є координатами розміщення рушійних пристроїв ТПА, вираженими в зв'язаній з апаратом системі координат. Верхнім індексом «T» позначено операцію транспонування матриці.

Перехідний процес може супроводжуватись введенням САК в режим насичення (параметр *s* = true). В даному режимі інтегратори системи переводяться в режим заборони інтегрування. Тому в разі виходу САК з режиму насичення в околі задачі керування виникне перерегулювання [5]. Усунення перерегулювання пропонується виконувати за допомогою задавача інтенсивності (ЗІ) задачі керування, який забезпечить функціонування САК на межі режиму насичення.

Для цього задавач апроксимує динаміку ТПА лінійною динамічною ланкою другого порядку:

$$\ddot{R}_\text{і} = \left(K_\text{і} U_\text{і} - 2Z T_\text{і} \dot{R}_\text{і} - R_\text{і}\right) T_\text{і}^{-2}, \tag{3}$$

де $K_\text{і}$ – матриця коефіцієнтів підсилення моделі; $U_\text{і}$ – матриця керуючих впливів лінійної ланки; $T_\text{і}$ – матриця постійних часу моделі; Z – матриця коефіцієнтів демпфування.

Керуючі впливи $U_\text{і}$ отримаємо за допомогою регулятора, який побудовано на основі методу оберненої динаміки об'єкта керування [8]:

$$\left.\begin{aligned} U_\text{і} &= \left(T_\text{і}^2 \ddot{R}_{\text{і}d} + 2Z T_\text{і} \hat{\dot{R}}_g + \hat{R}_g\right) K_\text{і}^{-1}; \\ \ddot{R}_{\text{і}d} &= \hat{\ddot{R}}_g + 2Z \dot{E}_\text{і} T_{ISU}^{-1} + E_\text{і} T_{ISU}^{-2}; \\ E_\text{і} &= \hat{R}_g - K_V R_\text{і}, \end{aligned}\right\} \tag{4}$$

де $\hat{R}_g$ – коригована задача керування; T_{ISU} – постійна часу еталонної моделі регулятора ЗІ.

При вході до режиму насичення вихід задавача інтенсивності $R_\text{і}$ повинен наближатись до керованих параметрів ТПА. Для цього модифікуємо вихідні значення задачі керування та її похідних:

$$\left[\hat{R}_g \quad \hat{\dot{R}}_g \quad \hat{\ddot{R}}_g\right]^T = \begin{cases} \left[R \quad 0_{6\times1} \quad 0_{6\times1}\right]^T, \text{якщо } S(U) = true \wedge F\left(R_\text{і}, R_g, R, \Delta\right) = false; \\ \left[R_g \quad \dot{R}_g \quad \ddot{R}_g\right]^T, \text{інакше}, \end{cases} \tag{5}$$

де $S(U)$ – матрична функція, яка визначає ознаку режиму насичення; $F(R_\text{і}, R_g, R, \Delta)$ – матрична функція, яка визначає наявність відхилення траєкторії ТПА від траєкторії ЗІ; Δ – матриця граничних значень відхилень.

Для забезпечення стійкості САК необхідно сповільнювати ЗІ в режимі насичення:

$$\hat{T}_{ISU} = \begin{cases} K_{ISU} T_{ISU}, \text{якщо } S(U) = true \wedge F\left(R_\text{і}, R_g, R, \Delta\right) = false; \\ T_{ISU}, \text{інакше}, \end{cases} \tag{6}$$

де K_{ISU} – коефіцієнт масштабування, який слід обирати набагато більшим за 1.

Структура САК просторовим рухом ТПА із використанням ЗІ набуває вигляду, який зображено на рис. 1.

Рис. 1.

Регулятор реалізує закон керування (1)–(2). Блок завдання інтенсивності реалізує співвідношення (3)–(4) та враховує (5)–(6).

Висновки

1. Синтезовано задавач інтенсивності для системи автоматичного керування, в основі якої використовується метод мінімізації локальних функціоналів, на основі лінійної ланки другого порядку та інверсного регулятора. Задавач інтенсивності дає змогу усунути перерегулювання в САК, які виникають внаслідок входу системи керування в режим інтегрального насичення.

2. Удосконалено систему автоматичного керування просторовим рухом телекерованого підводного апарата в умовах невизначеності шляхом послідовного включення синтезованого задавача інтенсивності для формування задачі керування регулятора. Запропонована систем забезпечує керування без перерегулювання і може бути використана для керування самохідними телекерованими підводними апаратами з довільною конфігурацією рушійного комплексу.

Список використаних джерел

1. Blintsov, O. Devising a Method for Maintaining Manageability at Multidimensional Automated Control of Tethered Underwater Vehicle [Text] / O. Blintsov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 1/9. – Pp. 4-16. doi: 10.15587/1729-4061.2017.93291

2. Gayvoronskiy, S. A. Motion Control System for a Remotely Operated Vehicle with Interval Parameters [Text] / Sergey A. Gayvoronskiy, Ivan V. Khozhaev, Tatiana A. Ezangina // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. – 2017. – Issue 6:5. – Pp. 378–384. doi: 10.18178/ijmerr.6.5.378-384

3. Xia, G. Fuzzy neural network-based robust adaptive control for dynamic positioning of underwater vehicles with input dead-zone [Text] / G. Xia, C. Pang, J. Xue // Journal Of Intelligent and Fuzzy Systems. – 2015. – Vol. 29. – Pp. 2585–2595. doi: 10.3233/IFS-151961

4. Li, X. A Nonlinear Observer for Remotely Operated Vehicles with Cable Effect in Ocean Currents [Text] / Xiang Li, Min Zhao, Tong Ge // Applied Sciences. – 2018. –Issue 8:6. – 27 p. doi:10.3390/app8060867

5. Блінцов, О. В. Автоматичне керування безекіпажним підводним комплексом системи моніторингу акваторії в умовах невизначеності [Текст] / О. В. Блінцов, В. В. Соколов, В. І. Корицький // Сучасні проблеми інформаційної безпеки на транспорті – 2018: Матер. VIII Всеукр. наук.-техн. конф. з між нар. уч. – Миколаїв : НУК, 2018. – С. 19–26.

6. Korytskyi, V. I. Improvement of the Mathematical Model of Spatial Motion of a Remotely Operated Underwater Vehicle with Technological Equipment [Text] / V. I. Korytskyi // Shipbuilding & Marine Infrastructure. – 2018. – Issue 1 (9). – Pp. 44-52. doi: 10.15589/SMI.2018.01.06

7. Пшихопов, В. Х. Алгоритмы многосвязного позиционно-траекторного управления подвижными объектами [Текст] / В. Х. Пшихопов, М. Ю. Медведев, Р. В. Федоренко, Б. В. Гуренко, В. М. Чуфистов, В. А. Шевченко // Инженерный вестник Дона. – 2014. – Т. 31, №3. – С. 1–17.

8. Крутько, П. Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. Цикл лекций [Текст]: уч. пос. / П. Д. Крутько. – М.: Машиностроение, 2004. – 576 с.

УДК 681.515

Блінцов О. В., д.т.н.; доцент, Буруніна Ж. Ю.; к.т.н., доцент, Войтасик А. М.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ВАНТАЖНИМ САМОХІДНИМ ПІДВОДНИМ НОСІЄМ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Автоматичне керування нелінійними об’єктами є відомою науковою проблемою теорії автоматичного керування. Синтез нелінійних систем автоматичного керування (САК) зазвичай потребує врахування особливостей кожного конкретного об’єкта.

Як нелінійний об’єкт керування, який працює в умовах невизначеності, розглядається прив’язний телекерований підводний апарат – вантажний самохідний підводний носій (ВСПН) [1, 2]. Основне призначення ВСПН це доставка, установка та згортання корисних вантажів на морському дні. Даний носій працює у складі підводного комплексу з гнучким зв’язком.

Для синтезу САК телекерованими підводними апаратами успішно застосовується метод оберненої динаміки [3], сутність якого полягає в наступному.

Динаміка одновимірного об’єкта керування описується нелінійним диференціальним рівнянням N-го порядку [4]:

$$f\left(y^{(n)}, \lambda_s^{(q_s)}, u\right) = 0; \quad n = 0, 1, 2, \ldots, N; s = 0, 1, 2, \ldots, S; q_s = 0, 1, 2, \ldots, Q_s,$$

де y – керована величина, λ_s – збурюючий вплив, S – загальна кількість збурюючих впливів, Q_s – порядок s-го збурюючого впливу, u – керуючий вплив, N – порядок об’єкта керування. Верхні індекси (n) та (q_s) показують порядки похідних за часом.

Еталонну модель задають диференціальним рівнянням з бажаними динамічними характеристиками:

$$y_d^{(N)} = \Phi\left(y^{(i)}, y_g^{(j)}\right); \quad i = 0, 1, 2, \ldots, N-1; \quad j = 0, 1, 2, \ldots, J. \tag{1}$$

де J – старша похідна задачі керування y_g.

З математичної моделі об’єкта керування отримують його інверсну модель:

$$u = f\left(y^{(N)}, y^{(i)}, \lambda_s^{(q_s)}\right); \quad i = 0, 1, 2, \ldots, N-1; s = 0, 1, 2, \ldots, S; q_s = 0, 1, 2, \ldots, Q_s.$$

Бажане значення керуючого впливу знаходять підстановкою $y_d^{(N)}$ замість $y^{(N)}$ в інверсну модель об’єкта:

$$u = f\left(y_d^{(N)}, y^{(i)}, \lambda_s^{(q_s)}\right); \tag{2}$$

На вхід інверсної моделі має надходити інформація про збурюючі впливи. Якщо інверсна модель недостовірна або відсутня інформація про збурення, то САК не буде в змозі забезпечити високу динамічну точність керування.

Умови невизначеності при керуванні ВСПН створюються такими основними чинниками. По-перше, це параметричні невизначеності, обумовлені тим, що процедура визначення параметрів математичної моделі

ВСПН досить складна, потребує проведення басейнових та морських натурних випробувань і її реалізація не завжди можлива на практиці. По-друге, це невизначеності, які створюються навколишнім середовищем. Можлива лише приблизна оцінка впливу води на підводний носій. По-третє, ВСПН механічно з'єднаний кабель-тросом з надводним судном забезпечення, що призводить до появи зовнішніх збурень на корпусі ВСПН.

Для надання САК можливості працювати в умовах невизначеності пропонується удосконалити метод оберненої динаміки.

Ідеальний сигнал керування можна отримати на основі неточної інверсної моделі об'єкта керування при невизначених збурюючих впливах:

$$u_{ideal} = f_{inv.m}\left(y_d^{(N)}, y^{(i)}, \lambda_p^{(q_p)}\right) - u_x. \quad (3)$$

Параметр u_x динамічно змінюється в процесі керування і характеризує прояв всіх невизначеностей об'єкта керування в сукупності.

Еталонна модель (1) та інверсна модель (3) формують узагальнений закон керування нелінійним одновимірним об'єктом в умовах невизначеності.

Оскільки параметр u_x є невизначеним, то на виході регулятора САК неможливо отримати сигнал керування u рівний u_{ideal}. У зв'язку з цим u пропонується визначати з умови наближення $u \to u_{ideal}$:

$$u = f_{inv.m}\left(y_d^{(N)}, y^{(i)}, \lambda_p^{(q_p)}\right) - u_D; \quad u_D \to u_x, \quad (4)$$

де u_D – сигнал компенсації невизначеностей.

Параметр u_D визначає на скільки інверсна модель $f_{inv.m}(\cdot)$ відрізняється від ідеальної інверсної моделі $f_{inv.real}(\cdot)$ об'єкта керування. В кожний момент часу він має компенсувати структурні та/або параметричні неточності математичної моделі об'єкта керування, неточно виміряні та/або невизначені збурюючі впливи.

Для того, щоб забезпечити $u_D \to u_x$ пропонується забезпечити $y_m(t) \to y(t)$. При цьому $y_m(t)$ необхідно визначати на основі моделі об'єкта керування з урахуванням параметра u_D:

$$y_m^{(N)} = f_m\left(u + u_D, y_m^{(i)}, \lambda_p^{(q_p)}\right).$$

У зв'язку з цим до складу САК пропонується ввести модель об'єкта керування $f_m(\cdot)$. Структуру такої САК зображено на рис. 1.

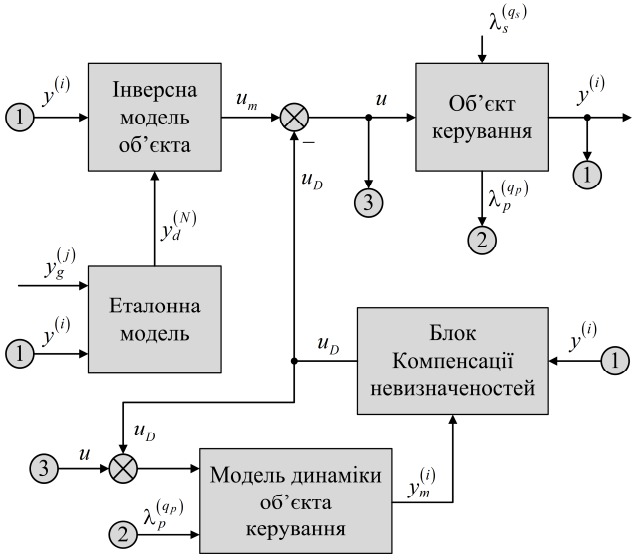


Рис. 1. Структура САК з компенсацією невизначеностей

До складу регулятора САК входять еталонна модель, інверсна модель об'єкта керування, модель динаміки об'єкта керування та блок компенсації невизначеностей. Задачею останнього є обчислення величини u_D з метою забезпечення $y_m(t) \to y(t)$.

Закон компенсації невизначеностей, який забезпечить $y_m(t) \to y(t)$ і на основі якого буде працювати блок компенсації невизначеностей САК, синтезуємо методом мінімізації локальних функціоналів [5]. Мінімізації підлягає функціонал $G(u_D)$, який представляє собою нормовану енергію старшої похідної виходу моделі динаміки об'єкта керування:

$$G(u_D) = \frac{1}{2}\left[y_{dm}^{(N)} - y_m^{(N)}\right]^2. \quad (5)$$

де $y_{dm}^{(N)}$ – бажане значення старшої похідної виходу моделі динаміки об'єкта керування.

Величина $y_{dm}^{(N)}$ отримується з еталонної моделі контуру компенсації невизначеностей:

$$y_{dm}^{(N)} = \Phi\left(y_m^{(i)}, y^{(j)}\right); \quad i = 0, 1, 2, \ldots, N-1; \quad j = 0, 1, 2, \ldots, J. \quad (6)$$

Диференціальний закон компенсації невизначеностей приймає наступний вид:

$$\frac{du_D(t)}{dt} = \sigma k\left(y_{dm}^{(N)} - y_m^{(N)}\right); \quad \sigma = \operatorname{sign}\left(\frac{\partial y_m^{(N)}}{\partial u_D}\right); \quad k > 0, \quad (7)$$

де *k* – коефіцієнт, який визначає швидкодію контуру компенсації невизначеностей; σ – параметр, який реалізує правило знаків, що забезпечує стійкість контуру компенсації невизначеностей [5].

Швидкодія контуру (7) має бути значно вища, за швидкодію еталонної моделі (6). Проте значне збільшення коефіцієнту *k* може призвести до втрати стійкості процесу чисельного розв'язку диференціальних рівнянь контуру компенсації невизначеностей. Тому параметр *k* обирається, так, щоб швидкодія контуру (7) була значно менша за період квантування за часом в комп'ютерній реалізації регулятора САК. Далі задається швидкодія еталонної моделі контуру компенсації. І останнім кроком задається швидкодія еталонної моделі САК, вона має бути значно меншою, за швидкодію еталонної моделі контуру компенсації (6).

Диференціальний закон компенсації (7) допускає пониження порядку. Якщо його проінтегрувати за часом при нульових початкових умовах, то отримаємо

$$\left.\begin{aligned} u_D &= \sigma k\left(y_{dm}^{(N-1)} - y_m^{(N-1)}\right); \quad k > 0; \\ y_{dm}^{(N-1)} &= \Phi\left(\int y_m dt, y_m^{(i')}, \int y dt, y^{(j')}\right); \\ i' &= 0, 1, 2, \ldots, N-2; \quad j' = 0, 1, 2, \ldots, J-1. \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

Еталонну модель (6) також проінтегровано і введено до складу закону (8).

Закон компенсації (8) дає змогу САК працювати в умовах невизначеності і при відповідному виборі еталонних моделей забезпечувати високу динамічну точність керування нелінійним об'єктом *N*-го порядку. Його застосування дає змогу удосконалювати САК, синтезовані методом оберненої динаміки. Таким чином, класичний метод оберненої динаміки отримав подальший розвиток для синтезу САК, які працюють в умовах невизначеності.

Висновки.

1. Отримав подальший розвиток метод оберненої динаміки шляхом введення до складу інверсного закону керування сигналу компенсації для синтезу високоточних нелінійних систем автоматичного керування в умовах невизначеності.

2. Синтезовано закон компенсації невизначеності на основі застосування неточної моделі об'єкта керування та методу мінімізації локальних функціоналів, який забезпечує високу динамічну точність інверсного закону керування в умовах невизначеності.

Список використаних джерел

1. Войтасик, А. М. Спеціалізований вантажний саморушний телекерований підводний носій як інструмент моніторингу підводної обстановки України [Текст] / А. М. Войтасик // Автоматика та електротехніка: Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції студентів та молодих учених з міжнародною участю: – Миколаїв: НУК, 2013. – С. 141-143.

2. Блинцов, В. С. Электрооборудование грузового самодвижущегося телеуправляемого подводного носителя [Текст] / В. С. Блинцов, Г. В. Бабкин, А. В. Блинцов, П. Г. Клименко, А. Н. Войтасик // Проблеми автоматики та електрообладнання транспортних засобів: Матеріали XI всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю – Миколаїв: НУК, 2014. – С. 53-55.

3. Blintsov, O. Devising a method for maintaining manageability at multidimensional automated control of tethered underwater vehicle [Text] / O. Blintsov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 1, Issue 9. – P. 4–16. doi: 10.15587/1729-4061.2017.93291

4. Бойчук, Л. М. Метод структурного синтеза нелинейных систем автоматического управления [Текст] / Л. М. Бойчук. – М.: «Энергия», 1971. – 112 с.

5. Крутько, П. Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. Цикл лекций [Текст]: уч. пос. / П. Д. Крутько. – М.: Машиностроение, 2004. – 576 с.

СЕКЦІЯ 5. ІМПУЛЬСНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.319.4

Гунько В. І., Дмитрішин О. Я., Фещук Т. А.
Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м. Миколаїв

АНАЛІЗ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ІМПУЛЬСНИХ КОНДЕНСАТОРІВ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ В РЕЖИМАХ З ВИСОКОЮ ЧАСТОТОЮ ПРОХОДЖЕННЯ ІМПУЛЬСІВ

Для проведення ряду електрофізичних досліджень, наприклад для формування і підтримки сяйвового розряду, необхідні високовольтні імпульсні конденсатори допускають експлуатацію в режимах з високою частотою проходження імпульсів (близько сотні герц).

Інститут імпульсних процесів і технологій (ІІПТ) НАН України тривалий час займається створенням високовольтних імпульсних конденсаторів для різного роду електрофізичних і електротехнологічних установок. Як показали проведені раніше в ІІПТ дослідження, для конструкцій робочого діелектрика високовольтних імпульсних конденсаторів, призначених для експлуатації в режимах з високою частотою проходження імпульсів, пріоритетним є плівковий діелектрик, що просочений малов'язкою неполярною діелектричною рідиною [1].

Метою даної роботи є вибір типу полімерної плівки і рідини, що просочує, для робочого діелектрика високовольтного імпульсного конденсатора, призначеного для експлуатації в режимах з високою частотою проходження імпульсів до 100 Гц і вище.

Як показує досвід світових виробників при створенні високовольтних імпульсних конденсаторів з плівковим діелектриком, що експлуатуються в високочастотному режимі (близько 100 Гц), найбільш оптимальною є поліпропіленова плівка [2, 3].

Крім того, проведені раніше в ІІПТ НАН України експериментальні дослідження з оцінки довговічності застосовуваних у високовольтному конденсаторобудуванні полімерних плівок, а саме: поліпропіленової (італійського та українського виробництва), поліетиленової, політетрафторетиленової, поліімідної, полікарбонатної та поліетилентерефталатної, дозволили розглядати поліпропіленову плівку українського виробництва, як найбільш технологічно придатну та найбільш електрично міцну [4].

Таким чином, для створення високовольтного імпульсного конденсатора, що призначений для експлуатації з високою частотою проходження зарядів-розрядів, може бути обрана поліпропіленова плівка Tervakoski Film марки RER, ТУ У 25.2-25093118-001-2001 виробництва фірми ЗАТ СП „ТЕРИХЕМ-ЛУЦК", Україна. Плівка характеризується електричною міцністю не менш 210 кВ/мм, відносною діелектричною проникністю ε (при 20 °С і частоті 10 Гц) – 2,2, тангенсом кута діелектричних втрат tgδ (при 20 °С і діапазоні частот від 50 Гц до 106 Гц) – $2 \cdot 10^{-4}$, максимальною температурою експлуатації плівки – 100 °С (тривала), 120 °С (короткочасна) [5].

Просочуюча електроізоляційна рідина призначена для заповнення вільного простору між шарами робочого діелектрика конденсатора, підвищує його електричну міцність і величину відносної діелектричної проникності діелектричної системи в цілому, що у свою чергу позитивно позначається на питомих та експлуатаційних характеристиках. Вимоги, які пред'являють до рідких просочуючих діелектриків, дуже суперечливі. Рідини повинні характеризуватися високою електричною міцністю, мати одночасно високе значення відносної діелектричної проникності та низьке значення тангенса кута діелектричних втрат, малу в'язкість у діапазоні робочих температур конденсатора. Рідкий діелектрик повинен демонструвати стабільні характеристики в умовах впливу високої напруженості електричного поля, широкий діапазон робочих температур, бути негорючими та пожежобезпечним. Однак рідких діелектриків, що задовольняють одночасно всім цим вимогам, у природі не існує. Тому при виборі рідкого просочуючого діелектрика для конкретного високовольтного імпульсного конденсатора визначальними факторами є тип діелектричної системи конденсатора, умови та режим його експлуатації.

В Україні при просоченні плівкових діелектричних систем високовольтних імпульсних конденсаторів знайшли широке застосування трансформаторні масла марок Т-1500 ДСТУ 982-80 і ГК ТУ 38-401-358-84 виробництва фірми „АРІАН", Україна, які відносяться до мінеральних нафтових масел [6-9]. Електрофізичні та фізико-хімічні характеристики цих масел близькі, вони відрізняються друг від друга головним чином походженням (родовищами нафти) та способами очищення. У європейських країнах для просочення діелектричних систем високовольтних електротехнічних пристроїв рекомендуються трансформаторні масла марок Nytro 10 XN і Nytro 11 GX виробництва фірми „NYNAS", Швеція, які є аналогами масел марок Т-1500 та ГК [10, 11].

Сумісність із твердими електротехнічними матеріалами відіграє немаловажну роль при виборі масла, як просочуючого діелектрика [12]. Сталь, олово, олов'яно-свинцевий сплав, нікель, хром, кадмій мало змінюються самі та слабко впливають на масло під час термоокислювального старіння. Мідь та мідні сплави інтенсив-

но кородують, є активними каталізаторами окислювання та значно підвищують тангенс кута діелектричних втрат. Інтенсивність корозії підвищується з підвищенням температури окислювання та пов'язана з хімічним складом рідини. Тому у просочених нафтовим маслом високовольтних електротехнічних пристроях, які розраховані на тривалий термін служби без його заміни, всі мідні струмоведучі частини лудять, цинкують або нікелюють.

Через горючість, неоднорідність властивостей, яка обумовлена неоднорідністю складу, недостатньо високу стійкість в електричному полі (з урахуванням сучасних вимог до високовольтного обладнання), виснаження традиційних джерел нафти, придатних для виготовлення електроізоляційних масел, намітилася тенденція заміни нафтових масел синтетичними вуглеводнями [13, 14].

При створенні деяких типів конденсаторів, зокрема високовольтних імпульсних для електрогидроімпульсних пристроїв для збільшення дебіту нафтових і газових свердловин з розширеним діапазоном робочих температур експлуатації до 100 °С і вище, а також силових конденсаторів для електротранспорту вугільних шахт, де пред'являються підвищені вимоги з пожежної безпеки застосовуваного обладнання, становлять інтерес кремнійорганічні просочуючі рідини.

З кремнійорганічних рідин – як просочувальних діелектриків високовольтних імпульсних конденсаторів – найбільш широке застосування отримали поліметилсілоксанові рідини [15]. В'язкість цих рідин може коливатися в широкому інтервалі від 1 сСт до 1·103 сСт залежно від молекулярної ваги. Залежно від в'язкості збільшується густина рідин, величина її становить від 0,96 г/см^3 до 0,99 г/см^3.

Провідне місце в області вітчизняного виробництва поліметилсілоксанових кремнійорганічних рідин займає Запорізьке державне підприємство „Кремнійполімер" [16]. Поліметилсілоксанові рідини прозорі, безбарвні, хімічно інертні, корозійно стійки, гідрофобні, мають гарні діелектричні та демпфіруючі властивості та є поверхнево-активними речовинами. Температура застигання поліметілсілоксанових рідин нижче мінус 60 °С, тому вони можуть використовуватися при робочих температурах від мінус 50 °С до плюс 200 °С. Зі збільшенням в'язкості рідин нижня межа робочих температур знижається від мінус 5 °С до мінус 40 °С, разом з тим, зі зростанням в'язкості рідин збільшуються їх електрична міцність та питомий об'ємний електричний опір.

Однак у виробництві високовольтних імпульсних конденсаторів, які призначені для експлуатації у нормальних кліматичних умовах та режимах з високою частотою проходження зарядів-розрядів, ці рідини не знайшли широкого застосування через свою незадовільну електричну міцність та низьку газостійкість [17].

Для просочення силових конденсаторів з робочим діелектриком на основі полімерних плівок широке застосування у світовій практиці високовольтного конденсаторобудування одержали такі синтетичні електроізоляційні рідини як JARILEC C101 виробництва фірми „Arkema", Франція та фенілксилілетан (ФКЕ) виробництва фірми „Nippon Chemical Co", Японія [18-21].

Більш широке застосування, у порівнянні з JARILEC C101, для просочення плівкового діелектрика силових конденсаторів знайшов фенілксилілетан (ФКЕ) – синтетична вуглеводна ароматична речовина ряду діарілалкану [22]. Наприклад, Усть-Каменогорський конденсаторний завод, Казахстан виробляє силові конденсатори тільки із плівковим робочим діелектриком, просоченим фенілксилілетаном [24]. ФКЕ має найвищу газостійкість серед розглянутих синтетичних рідких діелектриків, стабільний та екологічно безпечний, стійкий до перенапруг, забезпечує зниження ймовірності виникнення часткових розрядів і має великий термін служби.

Раніше в ІІПТ проводилися експериментальні дослідження тривалої електричної міцності різних діелектричних систем на основі полімерних плівок – полікарбонатної, поліетилентерефталатної і поліпропіленової. У ролі просочуючих рідких діелектриків досліджувалися трансформаторне масло Т-1500, ФКЕ, поліметилсілоксанові рідини ПМС-10 і ПМС-20. Метою досліджень був вибір оптимальних діелектричних систем на основі комбінацій полімерних плівок і діелектричних рідин для виготовлення надійного робочого діелектрика високовольтних імпульсних конденсаторів. Експериментальні дослідження показали, що тип просочувальної рідини впливає на тривалу електричну міцність досліджуваних діелектричних систем - в однакових умовах випробувань зразки на основі поліпропіленової плівки, що були просочені ФКЕ, характеризувалися більш високим значеннями короткочасної та тривалої електричної міцності в порівнянні з аналогічними зразками, просоченими трансформаторним маслом Т-1500 та поліметилсілоксановими рідинами ПМС-10 та ПМС-20.

В [23] наведено результати експериментальних досліджень тривалої електричної міцності плівкових діелектриків, просочених нафтовими маслами, ФКЕ, JARILEC C101 та рідиною Миксофлекс 1000, виробництва фірми „Prodelec", Франція. Було встановлено, що найбільшу електричну міцність має поліпропіленовий плівковий діелектрик, просочений ФКЕ, при цьому коефіцієнт варіації по електричній міцності діелектрика складає 2,4 %. За результатами експериментальних досліджень було зроблено висновок, що для просочення робочого діелектрика силових конденсаторів із поліпропіленовою плівкою найбільш перспективною є електроізоляційна рідина ФКЕ.

Таким чином, за результатами проведеного огляду малов'язких неполярних електроізоляційних рідин, застосовуваних для просочення діелектриків на основі полімерних плівок, можна зробити наступний висновок – для просочення плівкового діелектрика високовольтних імпульсних конденсаторів, призначених для експлуатації в режимі з частотою проходження імпульсів (порядку 100 Гц) необхідно застосовувати фенілксилілетан.

Список використаних джерел

1 Гунько, В.И. Исследование конструкций пленочного диэлектрика для высоковольтных импульсных конденсаторов [Текст] / В.И. Гунько, А.Я. Дмитришин, Л.И. Онищенко, С.О. Топоров, Т.А. Фещук // Электронная обработка материалов. – 2012. – № 2. – С. 93-96.

2 Кучинский, Г.С. Силовые электрические конденсаторы / Г.С. Кучинский, Н.И. Назаров. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 320 с.

3 Справочник по электротехническим материалам / Под ред. Ю.В. Корицкого. – В 3 т. Т.2. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 464 с.

4 Малюшевська, А.П. Довготривала електрична міцність полімерних плівок під дією електричного поля [Текст] / А.П. Малюшевська, В.І. Гунько, С.О. Топоров // Електротехніка та електроенергетика – 2017. - № 1. – С. 12-17.

5 ТУ У 25.2-25093118-001. Плівки поліпропіленові двовісноорієнтовані. Технічні умови [Текст]. Введ. 2001-12-19. – Луцьк: Волинський державний центр стандартизації, метрології та сертифікації, 2001. – 27 с.

6 Гунько, В.И. Исследования по созданию гаммы высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком [Текст] / В.И. Гунько, А.Я. Дмитришин, Л.И. Онищенко, И.А. Перекупка // Материалы XVI Международной школы-семинара «Физика импульсных разрядов в конденсированных средах». – Николаев, 2011. – С. 201-203.

7 Рудаков, В.В. Высоковольтные импульсные конденсаторы разработки НИПКИ «Молния», НТУ «ХПИ» [Текст] / В.В. Рудаков, Н.И. Бойко, В.Д. Беспалов // Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Электротехника и преобразовательная техника»: сб. науч. тр. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2002. – С. 47-58.

8 Рудаков, В.В. Стан та тенденції розвитку високовольтних імпульсних конденсаторів [Текст] / В.В. Рудаков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Техніка та електрофізика високих напруг»: зб. наук. праць. – Харьків: НТУ «ХПІ», 2009. – С. 146-154.

9 Гунько, В.И. Разработка высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком [Текст] / В.И. Гунько, А.Я. Дмитришин, Л.И. Онищенко, С.О. Топоров, И.А. Перекупка // Вісник НТУ «ХПІ». Серія «Техніка та електрофізика високих напруг»: зб. наук. праць. – Харьків: НТУ «ХПІ», 2012. – С. 65 – 71.

10 Базовые и трансформаторные масла Nynas [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.nynas.com.

11 Область применения трансформаторных масел [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://english.sinopec.com/products_service/lubricants/indu_lube/transformer_o/.

12 Гунько, В.И. Исследование совместимости трансформаторного масла Т-1500 с конструктивными материалами [Текст] / В.И. Гунько, А.Я. Дмитришин, С.О. Топоров, Т.А. Фещук // Электронная обработка материалов. – 2006. – № 5. – С. 77-79.

13 Физическая энциклопедия. Жидкие диэлектрики. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://femto.com.ua/articles/part_1/1170.html.

14 Виды жидких диэлектриков, свойства, область применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https ://studopedia.org/8-90164.html.

15 Справочник по электротехническим материалам / Под ред. Ю.В. Корицкого. – В 3 т. Т.1. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 386 с.

18 Запорожское государственное предприятие «Кремнийполимер»: каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.silic.com.ua.

19 Пропитывающие диэлектрики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: kvar.su/books/2/chap6.pdf.

20 Синтетические жидкие диэлектрики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: lib.kstu.kz.8300/tb/books/materialovedenie/teory/3.2.3.html.

21 Синтетические жидкие диэлектрики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://studik.net/sinteticheskie-zhidkie-dielektriki/.

22 JARYLEC C101, the most efficient dielectric oil for HV capacitors and capacitive HV equipments [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.arkema.com/en/products/product-finder/range-viewer/Jarylec-dielectric-fluids/2/.

23 Fofana, I. 50 Years in the Development of Insulating Liquids [Text] / I. Fofana // IEEE Electrical Insulation Magazine. – 2013. – Vol. 29, №5. – P. 13 – 25.

24 Усть-Каменогорский конденсаторный завод: сайт предприятия. – Режим доступа: http://www.ukkz.com

25 Галахова, Л.И. Электрические характеристики изоляции силовых конденсаторов промышленной частоты с пропиткой экологически безопасными жидкостями: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.14.12 «Техника высоких напряжений» / Л.И. Галахова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: tekhnosfera.com/view/454825/a#?page=1-21.

УДК 621.319.4

Гунько В. И., Перекупка И. А., Топоров С. О.
Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, г. Николаев

ТЕНДЕНЦИИ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ДЛЯ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ КОМПЛЕКСОВ

В настоящее время актуальной проблемой как для Украины, так и для стран, занимающихся нефте- и газодобычей, является задача наиболее полного извлечения полезных ископаемых и ремонт нефтяных и газовых скважин с целью восстановления их дебита.

ИИПТ НАН Украины занимается созданием погружных электроразрядных комплексов для обустройства и ремонта водяных, нефтяных и газовых скважин [1, 2]. Основными элементами, определяющими работоспособность и надежность комплекса, являются высоковольтные импульсные конденсаторы, входящие в блок накопителя электрической энергии. В отличие от высоковольтных импульсных конденсаторов для электроразрядных установок общепромышленного назначения конденсаторы для погружных устройств должны быть цилиндрического исполнения и быть строго определенного диаметра, определяемого диаметром скважины, а также должны обеспечивать работу в условиях повышенной температуры окружающей среды и наружного гидростатического давления [3].

Целью данной работы является оценка состояния в области создания высоковольтных импульсных конденсаторов для погружных электроразрядных комплексов.

Наряду с ИИПТ НАН Украины, ведущее положение в мире по созданию погружных электроразрядных комплексов занимают «Нефтегазовые инновации» и ООО «Геокарт» (Россия), «Novas Energy» (совместная фирма Россия-США) и «Blue Spark Energy» (Канада). Сложность оценки состоит в том, что информация фирм носит в основном рекламный характер с перечнем предоставляемых услуг. Информация по ООО «Геокарт» представлена рядом патентов на высоковольтные импульсные конденсаторы для погружных устройств, которые являются подобием разработанных в ИИПТ, что не позволяет прогнозировать дальнейшее их развитие в данной компании.

В данной работе авторами не рассматриваются конденсаторы для устройств увеличения дебита водозаборных скважин, т.к. они по сравнению с конденсаторами для обработки нефтяных и газовых скважин имеют больший наружный диаметр корпуса – 140 мм, предназначены для работы в скважинах с максимальной температурой окружающей среды 40 °С и поэтому их конструктивное исполнение является более простым.

В ИИПТ НАН Украины постоянно ведутся работы по совершенствованию высоковольтных импульсных конденсаторов для погружных электроразрядных комплексов обработки нефтяных и газовых скважин [4-6]. С целью расширения диапазона рабочих температур погружных устройств с 80 до 100 °С из конструкции конденсаторов исключены металлические сильфоны, обеспечивающие механическую компенсацию температурного увеличения объема пропитывающего диэлектрика конденсатора. Взамен сильфонов в конструкции конденсаторов предусмотрен определенный объем заполненный электроизоляционным газом [7, 8]. В настоящее время проводятся исследования различных диэлектрических систем, обеспечивающих надежную эксплуатацию конденсаторов в скважинах с температурой окружающей среды выше 100 °С.

Увеличение температуры окружающей среды связано с необходимостью обработки глубоких нефтяных скважин (до 5000 м и более), что также накладывает требования по обеспечению механической целостности конденсаторов в условиях высокого наружного гидростатического давления – 50 МПа и выше. Вместе с тем необходимо учитывать и тот факт, что с увеличением глубины скважины уменьшается диаметр обсадных колонн, что в свою очередь требует уменьшения наружного диаметра погружной части электроразрядного комплекса, в том числе и высоковольтных импульсных конденсаторов, с 114 до 102, 89 и 70 мм.

Для создания малогабаритных погружных электроразрядных комплексов в ИИПТ НАН Украины проводятся исследования по повышению удельной запасаемой энергии высоковольтных импульсных конденсаторов входящих в блок накопителей электрической энергии, что позволило снизить их количество с трех едениц до двух и в перспективе до одного конденсатора, при сохранении необходимых энергетических параметров и требуемого ресурса [9].

С целью сокращения времени обработки скважин проводятся исследования работоспособности высоковольтных импульсных конденсаторов при повышении частоты следования зарядов-разрядов с 0,25 до 0,5 и 1 Гц и выбор при этом оптимального режима разряда [10, 11]. По результатам исследований получены зависимости максимальной температуры в центре конденсатора от декремента и периода разрядного тока и частоты следования зарядов-разрядов.

Таким образом, в создании высоковольтных импульсных конденсаторов для погружных электроразрядных комплексов обработки нефтяных и газовых скважин прслеживаются следующие тенденции:

- обеспечение работоспособности конденсаторов при температурах окружающей среды 100 °С и выше;

- увеличение частоты следования зарядов-разрядов конденсаторов до 1 Гц;
- повышение величины удельной объемной запасаемой энергии конденсаторов.

Резюмируя вышесказанное, для создания конкурентноспособных высоковольтных импульсных конденсаторов для погружных электроразрядных комплексов необходимо проведение следующих исследований:

- оценить влияние повышенной до 125 - 150 °С температуры окружающей среды на длительную электрическую прочность диэлектрической системы конденсатора;
- исследовать влияние повышенной до 1 Гц частоты следования зарядов-разрядов на обеспечение тепловой устойчивости диэлектрической системы конденсатора;
- определить перспективы повышения величины удельной объемной запасаемой энергии конденсатора при сохранении его необходимого ресурса.

Список использованных источников

1 Дубовенко, К.В. Разрядно-импульсное оборудование для увеличения дебита нефтяных и водозаборных скважин [Текст] / Дубовенко К.В., Курашко Ю.И., Швец И.С., Онищенко Л.И. // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2002. – Т.1. – С. 96-102.

2 Швец, И.С. Электроразрядный комплекс для интенсификации добычи шахтного метана [Текст] / Швец И.С., Курашко Ю.И., Хвощан О.В., Литвинов В.В., Мельхер Ю.И., Онищенко Л.И., Гунько В.И. // Наука та іновації. – 2008. – №6. – С. 54-59.

3 Жекул, В.Г. Разработка и создание высоковольтных малогабаритных погружных устройств для интенсификации добычи полезных ископаемых из недр земли [Текст] / Жекул В.Г., Косенков В.М., Курашко Ю.И., Онищенко Л.И., Швец И.С. // Материалы Междунар. науч. конф. «Физика импульсных разрядов в конденсированных средах»: тезисы докл. и сообщ., Николаев, 22-26 августа 2005г. – Николаев, 2005. – С. 101-103.

4 Гребенников, И.Ю. Повышение энергоемкости высоковольтных импульсных конденсаторов для скважинных устройств [Текст] / Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И. // Электронная обработка материалов. – 2007. – №3. – С. 74-76.

5 Гребенников, И.Ю. Оценка достигнутого уровня и перспективы создания высоковольтных импульсных конденсаторов для погружных электроразрядных комплексов [Текст] / Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Швец И.С. // Электротехника. – 2007. - №8. – С. 48-51. – ISSN0013-5860.

6 Онищенко, Л.И. Создание емкостных накопителей энергии для скважинных электрогидроимпульсных устройств [Текст] / Л.И. Онищенко, В.И. Гунько, И.Ю. Гребенников // Труды III Междунар. конф. «Электрическая изоляция - 2002» (Санкт-Петербург, 18-21 июня 2002 г.). – СПб.: Нестор, 2002. – С. 201.

7 Пат. 31446А Украина, МПК^{6} H 01 G 1/02. Высоковольтный импульсный конденсатор [Текст] / Гунько В.И., Гребенников И.Ю., Ткаченко А.К.; заявитель и патентообладатель ИИПТ НАН Украины. - № 98094702; заявл. 04.09.98; опубл. 15.12.00, Бюл. № 7-II.

8 Гунько, В.И. Повышение электрической прочности жидких диэлектриков, насыщенных элегазом при температуре окружающей среды до 100 °С за счет избыточного давления газа [Текст] / Гунько В.И., Гребенников И.Ю., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Топоров С.О. // Электронная обработка материалов. – 2009. – № 3. – С. 67-69. – ISSN 0013-5739.

9 Гунько, В.И. Создание высоковольтных импульсных конденсаторов с высокими значениями удельной запасаемой энергии для скважинных установок интенсификации добычи нефти и газа [Текст] / В.И. Гунько, А.Я. Дмитришин, Е.Д. Танасова, С.О. Топоров // Материалы Всеукр. науч. конф. «Сучасні технології обробки матеріалів», Николаев, 1-2 ноября 2018 г. – Николаев, 2018. – С. 19.

10 Дмитришин, А.Я. Исследование тепловых режимов высоковольтных импульсных конденсаторов для скважинных установок [Текст] / А.Я. Дмитришин, С.О. Топоров // Материалы Всеукр. науч. конф. «Сучасні технології обробки матеріалів», Николаев, 1-2 ноября 2018 г. – Николаев, 2018. – С. 20.

11 Гунько, В.И. Исследования по созданию высоковольтных импульсных конденсаторов с улучшенными массогабаритными характеристиками для погружных электроразрядных комплексов [Текст] / .И. Гунько, А.Я. Дмитришин, С.О. Топоров // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: «Техника и электрофизика высоких напряжений». – 2018. – № 36. – С. 20-24. – ISSN 2079-0740, 2519-2248.

УДК 677.537.528:532.520

Малюшевская А. П., старший научный сотрудник, к.т.н., Малюшевский П. П., доцент, к.т.н.
Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины

ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ДЕЛИГНИФИКАЦИИ ЛЬНОВОЛОКНА

Основной проблемой использования отечественного льняного сырья в текстильной промышленности на сегодняшний день является адаптация сравнительно простого и получившего широкое распространение оборудования для переработки хлопковых волокон к обработке льняных, которые существенно отличаются по своим физико-химическим свойствам. Получению качественных волокон - полуфабрикатов препятствует в первую очередь наличие в льноволокне большого количества инкрустирующих веществ, например, лигнина. Существует ряд физико-химических способов удаления лигнина из льняных волокон, которые сопряжены с большими энергозатратами и экологически небезопасны. В данной работе рассматривается альтернативный способ воздействия на лубоволокнистое сырьё, позволяющий получить качественный котонин при сокращении энергозатрат и снижении уровня экологической опасности.

Рассматриваемый метод делигнификации льноволокна основан на использовании электроразрядной нелинейной объемной кавитации в жидкости, как инструмента воздействия на капиллярные объекты. Строение лубяных волокон позволяет обеспечить разрушение связей между инкрустирующими веществами (лигнином) и целлюлозой волокна при электроразрядной обработке. Качественная физическая модель электроразрядной нелинейной объёмной кавитации базируется на представлении о возникновении газовой фазы на предпробойной стадии подводного электрического разряда, когда образуются зародыши кавитации, формирующие на послеразрядной стадии обширную кавитационную область в поле отраженных волн. К важным полученным экспериментально характеристикам такой кавитации следует отнести содержание пузырьков в кавитационной области ~ $1 \cdot 10^6$ ед/см^3, минимальный (0,1 мм) и максимальный (1 мм) размер кавитационных пузырьков в ней. При электроразрядной кавитации получают возможность резонансного возбуждения все пузырьки с размерами, лежащими в указанном диапазоне. Это приводит к возникновению масштабных резонансных явлений в пульсирующей кавитационной области, формированию слоистой макроструктуры, образованию в жидкости областей с концентрацией пузырьков определённых размеров. Интенсивность кавитации сильно зависит от количества энергии, вводимой в реактор, и от частоты посылок импульсов. Однако превышение критического уровня частоты посылок импульсов приводит к кавитационному насыщению, это связано с тем, что конкретный режим электрического разряда позволяет генерировать и поддерживать только определенное количество зародышей кавитации. Кавитационные процессы наибольшей интенсивности наблюдаются при такой геометрии электровзрывного пространства в реакторе, которая обеспечивает условия, соответствующие так называемым «взрывам на мелкой воде», это обеспечивает максимальную развитость кавитационной области. Таким образом, расстояние горизонтальной оси электродной системы от свободной поверхности и дна реактора, а также глубина размещения объекта обработки – льноволокна, являются важными параметрами технологического процесса. Геометрия подводного пространства электроразрядного реактора становится высокоэффективным инструментом удаления из льноволокна лигнина и расщепления грубого технического волокна на тонкие прядильные волокна, приближенные по характеристикам к котонину.

Исследования, выполненные на натурных образцах льноволоконного сырья, показали, что варьирование величины энергии электроразрядного воздействия на массив льноволокна позволяет направленно изменять величину и характер комплексного массово-энергетического показателя полноты удаления нецеллюлозных веществ, физико-механические и структурные характеристики обработанных льняных волокон. При этом сохраняются ценные свойства льноволокна: высокая прочность, капиллярность, воздухопроницаемость, стойкость к мокрым обработкам и др.

Выводы. Исходя из концепции формирования в ближней зоне подводного электрического разряда, а затем во всем пространстве камеры электроразрядной нелинейной объёмной кавитации, обоснованы принципиальные технологические схемы электроразрядной обработки льноволокна и установлен необходимый диапазон параметров разрядной обработки, которая характеризуется малой удельной энергией и позволяет эффективно делигнифицировать волокно при снижении количества химреагентов. Использование такого мощного и легко управляемого инструмента воздействия на льноволокно позволяет не только осуществлять его первичную обработку с целью котонизации, но и интенсифицировать другие технологические процессы льнопереработки, например, отбеливание и окрашивание.

Список использованных источников

1. Smal'ko, A.A. Factors influencing an electrodischarge cavitation / A.A. Smal'ko, A.P.Malyushevskaya, S.M. Tikhonenko // Elektronnaya Obrabotka Materialov . - №4, 2003. - С. 41-47.

2. On the mechanism of electric discharge enhancement of processes for purifying plant fibers from noncellulose substances / A.P. Malyushevskaya, P.P. Malyushevskyy, A.N. Yushchishina // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – July 2017, Vol. 53, Issue 4, pp. 383–393.

УДК 669.716.9

Богуславський Л.З.[1], к.т.н., с.н.с,, Адамчук Ю.О.[1] м.н.с., Иващенко В.А.[2] магістр.
[1]Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України.
[2]Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

АНАЛІЗ ТОВЩИНИ ВУГЛЕЦЕВОГО НАНОСТРУКТУРОВАНОГО ПОКРИТТЯ НА КОНСТРУКТИВНИХ ПОВЕРХНЯХ

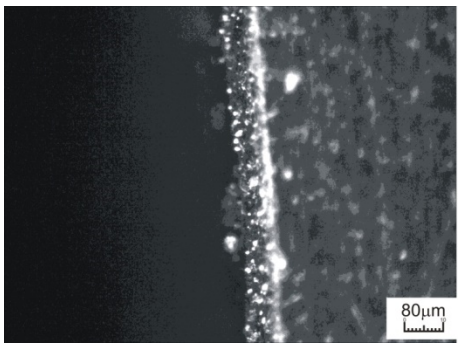
Нановуглець та наноструктуровані вуглецеві покриття використовуються у багатьох сферах виробництва та промисловості [1, 2]. Для захисту від електромагнітного випромінювання (ЕМВ) [3-4] розроблені і досліджені радіопоглинаючі наповнювачі та покриття, основою яких є вуглець композитні матеріали, до складу яких входить графіт, вуглецеві волокна та вуглецеві нанотрубки. З використанням цих наповнювачів і покриттів розроблені нові матеріали і технологічні процеси виготовлення наступних радіозахисні матеріалів будівельного призначення: радиозащитное бетон і пінобетон, радіопоглинаючі папір, пеностеклянние й полістирольні гранули. Застосування розроблених матеріалів дозволяє знизити в виробничих і житлових приміщеннях рівень зовнішніх і внутрішніх ЕМІ до нормованих значень [5]. При попередніх дослідженнях була розроблена установка для синтезу вуглецевих наноструктурованих покриттів [6] та методика нанесення вуглецевих покриттів [7]. Для подальшої роботи у напрямку вдосконалення технології синтезу вуглецевих наноструктурованих покриттів необхідно провести дослідження отриманого покриття.

У зв'язку з тим, що товщина покриття знаходиться у мікронному діапазоні, виміряти його товщину механічними пристроями з потрібною точністю неможливо, тому було прийнято рішення використати оптичного металографічного мікроскопа «Неофот-32». Товщина покриття визначалася на поперечних зрізах зразків при точному фокусуванні (ціна поділки 1 мкм).

Для проведення досліджень зразок розміщувався у спеціальній формі, перпендикулярно площі покриття. Форма заповнювалась епоксидною смолою, яка застигала. Це необхідно щоб при подальшої обробці зразка не задати шкоду покриттю. Після проводився зріз зразка, його шліфування та полірування.

На рисунку 1 наведено зовнішній вигляд обробленого мідного зразка (а), та мікроскопія зрізу (б). Обробка відбувалась у десять підходів по п'ять хвилин кожен.

а)

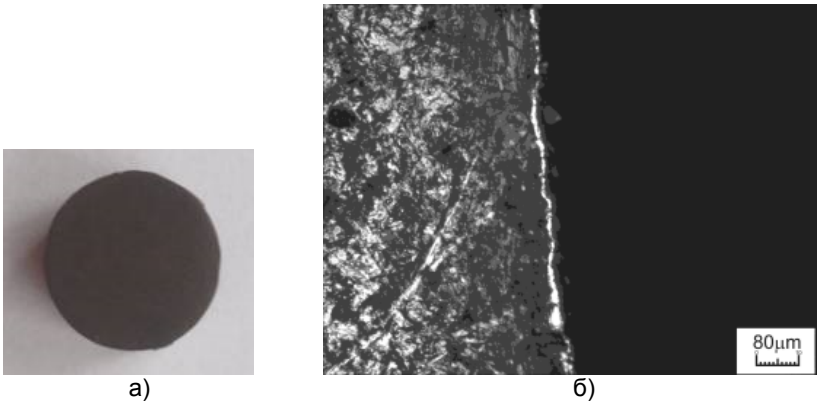


б)

Рис. 1.

З мікроскопії зрізу можна зробити висновок, що товщина отриманого покриття на міді сягає 75-80 мкм.

На рисунку 2 наведено зовнішній вигляд (а), та мікроскопію зрізу (б). Обробка проводилась у п'ять підходів по три хвилини.

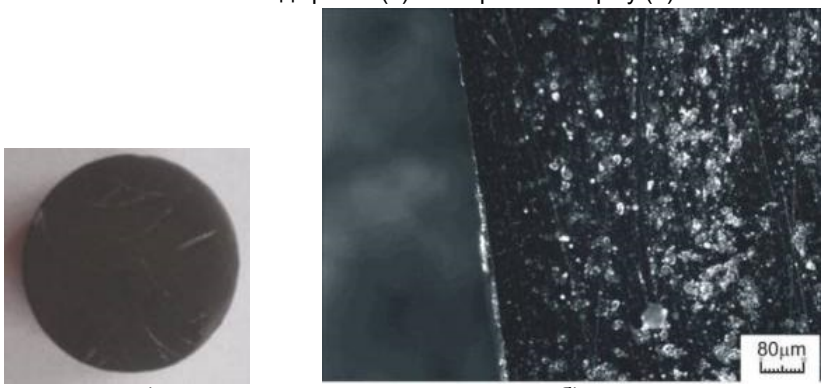


а) б)

Рис. 2.

Шар покриття на стальному зразку складає 30-40 мкм.

Також було проведено дослідження покриття з нікелевого сплаву. На цей зразок покриття наносилось у п’ять підходів по п’ять хвилин. Зовнішній вид зразка (а) та мікроскопію зрізу (б) можна побачити на рисунку 3.



а) б)

Рис. 3.

Товщина отриманого покриття склала 20-25 мкм.

Також було проведено дослідження зі зразком на який було нанесено покриття у два етапи але місце нанесення частково не співпало, тому можна побачити різницю між одноразовою та дворазовою обробкою (рис. 4).

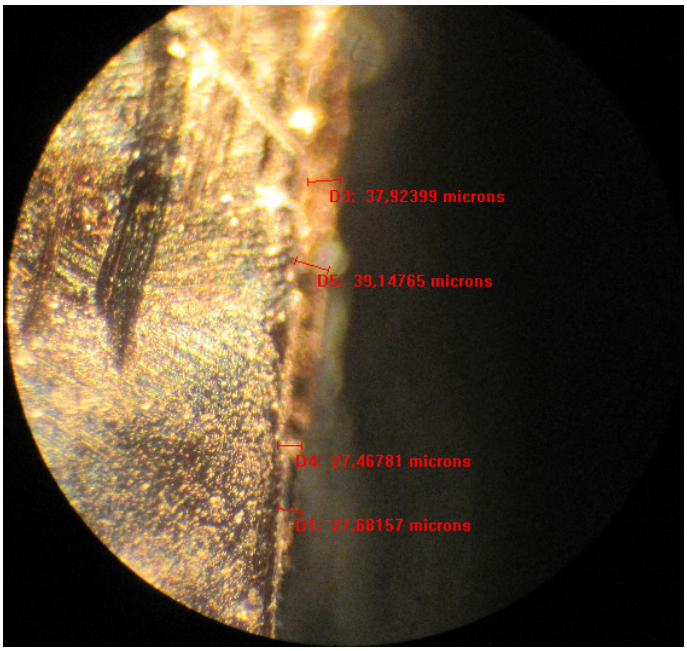


Рис. 4.

Висновки. Виходячи з проведених досліджень можна зробити висновок, що товщина шару вуглецевого наноструктурованого покриття залежить від оброблюваного матеріалу та кількості етапів обробки тобто від часу обробки.

Список використаних джерел

1. http://nanorf.ru/events.aspx?cat_id=227&d_no=450

2.Новиков, Л.С. Перспективы применения наноматериалов в космической технике: учеб. пособие / Л.С. Новиков, Е.Н. Воронина. // М.: Университетская книга, 2008. 188 с.

3.В.Н.Гульбин, В.А.Михеев, Н.С.Колпаков, Ю.К.Александров. Разработка радио- и радиационно-защитных материалов для авиационной техники. Сборник докладов IX международной научной конференции по гидроавиации «Гидроаивасалон», 2012, часть II.

4.Вовченко Л., Мацуй Л., Олейник В., Лаунец В., Загородний В., Норманд Ф. Резонансный характер взаимодействия многослойных углеродных нанотрубок с излучением миллиметрового диапазона волн // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. − 2011, т. 9, № 4. −С. 759—769.

5.Кочанов Д.И. Наноматериалы и нанотехнологии для машиностроения: состояние и перспективы применения / РИТМ, № 8 (56). 2010. С. 1621.

6. Адамчук Ю.О. Установка для нанесения углеродных наноструктурированных покрытий на конструкционные материалы // Матеріали VIII міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», 2017. – Миколаїв: НУК ім. Макарова. – С. 141 – 143.

7. Адамчук Ю.О. Методика экспериментального нанесения углеродных наноструктурированных покритий // Матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми автоматики та електротехніки», 2018. – Миколаїв: НУК ім. Макарова. – С.107 – 108.

УДК 621.74: 537.528: 621.317.3

Брагін Д. С., Юрочко Д. І.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НИЗЬКОВОЛЬТНОГО РОЗРЯДУ У РІДКОМЕТАЛЕВОМУ ПРОВІДНИКУ

Проблема обробки металевого розплаву електричним полем постала перед науковими колективами наприкінці XX сторіччя. Експериментальні дані (Україна, Росія, Китай) свідчать про перспективність застосування цього методу у ливарному виробництві. Але брак експериментальних даних щодо електродинамічних та електрофізичних явищ, які супроводжують таку обробку поки що не дозволяє перейти від новації до інноваційних пропозицій.

Як свідчив аналіз літературних джерел інформації, до цього часу не було проаналізовано коефіцієнт корисної дії при електрострумовій обробці, що суттєво впливає на вибір параметрів ефективного впливу на об’єкт обробки. Тому актуальною можна визначити наступну мету досліджень: провести вимірювання електричних характеристик розряду у рідкометалевому провіднику та визначити коефіцієнт корисної дії.

Для досягнення мети роботи було обрано низьковольтний генератор імпульсних струмів [1], який дозволяв при напрузі до 1 кВ обробляти розплав з частотою слідкування імпульсів від одиниць Герц до десятка кГц. Період струму складає 42 мкс при величенні ємності 12,5 мкФ.

Обрано електродну систему з паралельними електродами, бічна поверхня яких ізольована за допомогою кварцової трубки. Позитивний електрод занурювали до дна ємності з розплавом сплаву АК7. Негативний електрод занурювали на 5 мм від поверхні розплаву. Вимірювання проводили на чистому сплаві АК7, та такому що містив 2,5 % Fe. При цьому аналізували обробку при температурі плавлення (740 °С) та при температурі 620 °С, що на 20 °С вища за точки ліквідуса.

Для вимірювання застосовували методичні особливості, які було представлено на конференції 2018 року [2]. Додатково було виготовленно омічний подільник напруги з коефіцієнтом 556,5, який при вимірюванні тестували сигналом з генератора Г5-15 на різних частотах. Струм вимірювали шунтом з опором Rш= 0,00379.

Вимірювання виконували при напрузі на обкладках конденсаторної батареї U0=200 В.

Залежності розрядного струму I(t) та напруги U(t) обробляли також відповідно методики, викладеної у роботі [2]. Було зроблено по 3 вимірювання для кожного варіанту, що аналізували. Статистична похибка не перевищувала 5 %, тобто розряди були стабільними. Отримані данні по величенні енергії розряду Wp, тобто тієї енергії, яка формувала умови впливу на розплав, надані у таблиці 1.

Таблиця 1

Температура розплаву °С		740	620
W_p, Дж	Сплав АК7	0,065	0,062
	Сплав АК7 + 2,5 % Fe	0,066	0,064
η , %	Сплав АК7	26	0,25
	Сплав АК7 + 2,5 % Fe	26	0,25

Величина коефіцієнта корисної дії (η) вираховувалась за формулою:

$$\eta = \frac{W_r}{W_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де

$$W_0 = \frac{CU_0^2}{2} = \frac{12{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot (200)^2}{2} = 0{,}25 \text{ (Дж)}.$$

Таким чином, практично до 30 % електричної енергії введено у розплав при розряді від величини яку було запасено в конденсаторній батареї.

Висновки. У процесі вимірювання електричних характеристик розряду від низьковольтного генератора імпульсних струмів визначено, що ККД розряду не перевищує 30 % і не залежить практично від температури розплаву та підвищеного вмісту Fe.

Список використаних джерел

1. Брагін Д. С, Юрочко Д. І Трифазний низьковольтний генератор імпульсних струмів для обробки розплаву // Матеріали всеукраїнської науково-практичної Конференції здобувачів вищої освіти І молодих учених (м.Миколаїв, листопад 2018) – Миколаїв, 2018. – С. 115- 117

2. Юрочко Д. І., Брагін Д. С. Методичні особливості вимірювання електричних характеристик при електричних розрядах // Матеріали всеукраїнської науково-практичної Конференції здобувачів вищої освіти І молодих учених (м.Миколаїв, листопад 2018) – Миколаїв, 2018. – С.117- 119

УДК 681.51:537.523:661.666.4

Козирєв С. С., к.т.н.; Назарова Н. С., к.т.н.; Овчиннікова Л. Є., к.т.н.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м. Миколаїв

ПОБУДОВА МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНОГО СИНТЕЗУ НАНОВУГЛЕЦЮ У ВИГЛЯДІ ГРАФА

Вуглецеві наноматеріали знаходять застосування в багатьох галузях науки, промисловості, техніки та інженерії, що обумовлено великою різноманітністю їх фізико-хімічних, оптичних, механічних і електричних властивостей [1].

Метод високочастотного електророзрядного синтезу вуглецевих наноматеріалів (ВНМ) із вуглецевмісних газів, розроблений в ІІПТ НАН України, має високі показники продуктивності та високу якість отриманих ВНМ, що задовольняє вимоги до виробництва в промислових масштабах [2]. Для впровадження даного методу в промислове виробництво необхідно забезпечити керованість технологічного процесу електророзрядного синтезу нановуглецю на всіх його стадіях.

Технологічний процес електророзрядного синтезу нановуглецю відноситься до складних систем, процеси в яких суттєво різняться за швидкостями та параметрами. Координати стану та критерії оптимальності окремих технологічних циклів різні. З метою забезпечення керованості технологічного процесу синтезу, систематизації функцій і задач керування на усіх технологічних стадіях необхідно провести його аналіз як об'єкта керування та побудувати узагальнену модель керування.

Метою роботи є побудова узагальненої моделі керування технологічним процесом високочастотного електророзрядного синтезу вуглецевих наноматеріалів із вуглецевмісних газів за результатами дослідження функцій і задач керування на усіх технологічних стадіях.

Для побудови моделі керування технологічним процесом високочастотного електророзрядного синтезу нановуглецю обрано теоретико-множинний підхід, коли параметри стану об'єкта керування задаються у вигляді множин або векторів, маркування яких визначає відповідні матриці операторів [3]. Такий підхід дає змогу узагальнити задачі керування різними технологічними циклами процесу синтезу.

На основі аналізу алгоритму роботи високовольтної електророзядної установки для синтезу нановуглецю виділено наступні складові частини керованого технологічного процесу: допоміжні операції з подачі сировини й збору синтезованого продукту та базові операції, що безпосередньо забезпечують процес синтезу нановуглецю в реакційному об'ємі.

Допоміжні операції забезпечують додаткові умови, необхідні для підготовки до досягнення технологічного результату за допомогою керованого електророзряду, та включають в себе подачу сировини з підтриманням необхідних параметрів та регулюванням витрат, виведення газоподібних продуктів реакції, фільтрацію твердих продуктів синтезу, збір продуктів синтезу.

На етапі виконання допоміжних технологічних операцій змінними стану об'єкта керування є положення вентилів газової системи, регуляторів керованих редукторів, рівень наповнення відстійника з фільтром та ін. Координатами цих змінних будуть стани датчиків положення, а керуючими впливами – сигнали включення виконавчих механізмів і пристроїв. Для моделі цієї стадії простір станів і простір керувань являють собою дві множини, або дві матриці (матриця стану й матриця керування), елементами яких будуть відповідно стани датчиків положення виконавчих механізмів й команди включення виконавчих механізмів. Завданням системи керування є забезпечення відповідності елементів множин, що задаються циклограмою роботи механізмів і пристроїв та діаграмою стану датчиків.

Базові технологічні операції забезпечують синтез нановуглецю з вуглецевмісного газу, що відбувається в нерівноважній плазмі електричного газового розряду, який формується в міжелектродному проміжку, розташованому в реакторі, заповненому вуглецевмісним газом, за допомогою високовольтного генератора розрядних імпульсів. До задач керування на даному технологічному етапі відноситься забезпечення необхідного режиму роботи високовольтного високочастотного генератора, який генерує розрядні імпульси з заданими параметрами, забезпечення реакційних параметрів вуглецевмісного газу в розрядному реакторі та заданого режиму розряду, забезпечення необхідної величини міжелектродного проміжку, шляхом керування рухом електродної системи.

Узагальнена модель керування технологічним процесом високочастотного електророзрядного синтезу вуглецевих наноматеріалів з вуглецевмісного газу може бути представлена у вигляді графа (рис. 1), у якому виділені групи операцій відповідають гілкам, а стійкі стани – вершинам графа. Стійкі стани (вершини графа) описуються окремими моделями фрагментів технологічного процесу: $\mathbf{Q}_j$ – допоміжні операції; **Z** – режими роботи високовольтного високочастотного генератора імпульсів; **R** – режими розряду в газовому середовищі реакційного об'єму; **D** – траєкторії руху електродної системи.

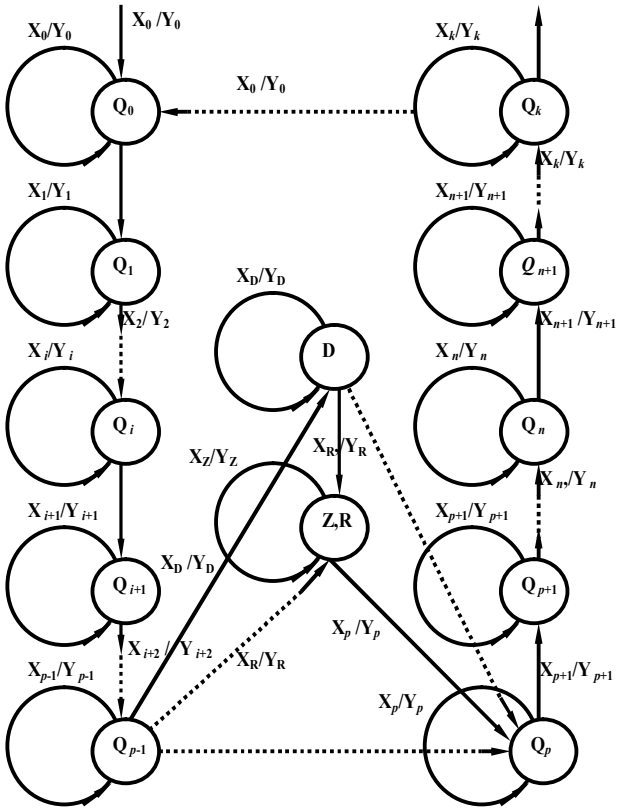


Рис. 1. Узагальнена модель керування технологічним процесом високочастотного електророзрядного синтезу вуглецевих наноматеріалів

Стійкі стани (вершини графа) описуються окремими моделями фрагментів технологічного процесу: $\mathbf{Q}_j$ – допоміжні операції; **Z** – режими роботи високовольтного високочастотного генератора імпульсів; **R** – режими розряду в газовому середовищі реакційного об'єму; **D** – траєкторії руху електродної системи.

Відповідно до теоретико-множинного підходу вони утворюють множину станів об'єкта керування, який можна позначити вектором **M = {Q, D, Z, R}**. Вихідний вектор $\mathbf{Y}_j$ і поточний стан об'єкта $\mathbf{M}_j$ залежать від набору вхідних сигналів або координат вхідного вектора $\mathbf{X}_j$ і попереднього стану об'єкта $\mathbf{M}_{j-1}$. Перехід від одного стійкого стану до іншого визначають умовні переходи – $\mathbf{X}_j/\mathbf{Y}_j$..

Для відбиття узагальненою моделлю процесів, що відбуваються в генераторі імпульсів, відображення режимів розряду в газонаповненому реакційному об'ємі та руху електродної системи до графа введені спеціальні умовні переходи, що підключають модель керування режимом роботи генератора **Z**, режимом розряду **R** і рухом електродної системи **D**.

Зв'язок між координатами вхідного й вихідного векторів X, Y у загальному вигляді описується наступним виразом:

$$\mathbf{Y = A\ X,}$$

де **Y = {YQ, YD, YZ, YR}**;

X = {XQ, XD, XZ, XR};

YQ, YD, YZ, YR; XQ, XD, XZ, XR – координати вихідного **Y** та вхідного **X** векторів;

A – оператор.

Оператор **A** реалізується системою керування вищого рівня та забезпечує взаємозв'язок між фрагментами моделі, задаючи умовні переходи від одного фрагменту до іншого, накладаючи певні обмеження на вхідні та вихідні координати. Забезпечує умови, при яких підсистеми функціонують в заданих режимах відповідно до бази алгоритмів та початкових умов.

Для ефективного розв'язання завдань керування вищого рівня необхідно синтезувати локальні алгоритми керування нижніх рівнів. Кожен етап технологічного процесу електророзрядного синтезу нановуглнцю має свої критерії оптимальності, реалізується в умовах дії зовнішніх впливів та невизначеностей, має змінні параметри, тому вимагає розробки адаптивних підсистем керування.

Набір допоміжних операцій залежить від конструкції технологічного обладнання, від типу газової системи та її елементів. Саме набір допоміжних операцій та стан їх виконання зумовлює кількість стійких станів (вершини графа $\mathbf{Q}_j$) та умовних переходів $\mathbf{X}_j/\mathbf{Y}_j$ і відповідно **–** розмір матриць стану й керування даного фрагменту узагальненої моделі. Алгоритм підсистеми керування допоміжними операціями повинен забезпечувати відповідність елементів множини станів виконавчих механізмів, що задається циклограмою роботи, та множини станів датчиків, заданих у вигляді діаграми положення датчиків.

Підсистеми керування базовими операціями, що забезпечують процес синтезу нановуглецю в реакційному об'ємі, визначаються моделями керування режимом роботи генератора (вершина графа **Z**), режимом розряду (вершина графа **R**) і рухом електродної системи (вершина графа **D**). Вершини графа **Z** і **R** взаємопов'язані, оскільки режим роботи генератора безпосередньо впливає на режим розряду.

В якості координат вектору стану **Z,** що відображає роботу генератора імпульсів, керуючись попередніми дослідженнями, можна прийняти наступні параметри: $U_{вих.}$ – вихідна напруга; W – енергія накопичувача, p – вихідна потужність; L – індуктивність розрядного контуру, f – частота проходження імпульсів; u – поточна напруга (миттєве значення); k_u – коефіцієнт форми імпульсів напруги.

Координатами вектору стану **R**, що визначає режим розряду в реакційному об'ємі та забезпечує технологічний результат синтезу ВНМ, керуючись дослідженнями електрофізичних характеристик високовольтної обробки газоподібних вуглеводнів [4], можна вважати наступні параметри: $U_{пр}$ – напруга пробою; $U_р$ – робоча напруга синтезу; I_{max} – максимальне значення струму; i – поточне значення струму; k_i – коефіцієнт форми імпульсів струму; T, P – температура та тиск в реакційному об'ємі. Для отримання залежностей між технологічними параметрами процесу синтезу ВНМ і електричними характеристиками розряду можна використовувати зручні для аналізу функціонали, описані в [4], які є засобами формального опису форми вольтамперних характеристик, що мають складну форму та залежать від співвідношення довжини каналу розряду і потужністю в ньому.

Алгоритм руху електродної системи відображає вектор стану **D**, за координати якого можна прийняти l – величину міжелектродного проміжку, від якої залежить режим розряду; i_c – середньоквадратичне значення розрядного струму, яке може слугувати інформаційною координатою; просторові координати рухомого електрода.

Побудована узагальнена модель керування технологічним процесом високочастотного електророзрядного синтезу вуглецевих наноматеріалів з вуглецевмісного газу показала, що синтез адаптивних підсистем керування окремими фрагментами технологічного процесу, можна вести незалежно, використовуючи метод декомпозиції.

Висновки. Проведено аналіз технологічного процесу електророзрядного синтезу нановуглецю як об'єкта керування, за результатами якого його віднесено до складних систем, дослідження яких доцільно проводити методом декомпозиції. Встановлено, що процеси в окремих технологічних циклах синтезу суттєво різняться за швидкостями та параметрами, мають різні координати стану та критерії оптимальності.

Побудовано узагальнену модель керування технологічним процесом високочастотного електророзрядного синтезу вуглецевих наноматеріалів з вуглецевмісного газу у вигляді графа, у якому виділені технологічні підгрупи операцій відповідають гілкам, а стійкі стани – вершинам графа.

Множину станів об'єкта керування позначено вектором **M = {Q, D, Z, R}**. Визначено координати векторів стану окремих технологічних циклів: $\mathbf{Q}_j$ – допоміжні операції; **Z** – режими роботи високовольтного високочастотного генератора імпульсів; **R** – режими розряду в газовому середовищі реакційного об'єму; **D** – траекторії руху електродної системи.

Узагальнена модель керування технологічним процесом електророзрядного синтезу нановуглецю у вигляді графа дає змогу технологічний процес представити фрагментарно, та використовуючи метод декомпозиції, задачу керування розкласти на декілька задач різного рівня, кожна з яких відноситься до певного фрагменту, незалежна, має свої критерії оптимальності та алгоритми реалізації.

Список використаних джерел

1. Song Li, Guang Feng, Pasquale F. Fulvio, Patrick C. Hillesheim, Chen Liao, Sheng Dai, Peter T. Molecular Dynamics Simulation Study of the Capacitive Performance of a Binary Mixture of Ionic Liquids near an Onion-like Carbon Electrode [Text] // The Journal of Physical Chemistry Letters 2012 3 (17), 2465–2469.

2. Богуславский Л.З. Управление процессом электроразрядного синтеза наноуглерода из газообразных углеводородов на металлических поверхностях [Текст] / Л.З Богуславский, Д.В. Винниченко, Н.С. Назарова, Ю.О. Адамчук, С.В. Чущак, С.С. Козырев // Электронная обработка материалов Том 54 (2018) №3. - С. 1-6.

3. Основы автоматического управления [Текст] / Под ред. В. С. Пугачева. - М.: Наука, 1974. – 720 с.

4. Щерба А. А. Стабілізація та регулювання режимних параметрів високовольтної електророзрядної системи для електроімпульсного синтезу нановуглецю [Текст] / А.А. Щерба, Д.В. Вінниченко // Вісник НТУ «ХПІ». 2014. № 21 (1064) – 141–151.

УДК 621.319.5

Богуславський Л. З., к.т.н.,Драган Г. С.

Національній університет кораблебудування ім.адм.Макарова,м.Миколаїв

ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНА УСТАНОВКА ДЛЯ ОБРОБКИ РІДКИХ СЕРЕДОВИЩЬ БАГАТОФАКІЛЬНОЮ ІМПУЛЬСНОЮ КОРОНОЮ

Сучасний стан знезаражуючіх фільтрів для води в Україні вимагає невідкладних заходів з приведення нормативних екологічних показників у відповідність з вимогами ЄС. Фізичні методи прямо або опосередковано пов'язані з перетворенням електричної енергії (озонування, ультрафіолетове опромінення, електронний пучок та ін.) у зв'язку з цим актуальним завданням є пошук таких методів і режимів впливу, які вимагають мінімум споживаної енергії, а в конструктивному плані володіють простотою і надійністю. Розробляються до теперішнього часу дослідні зразки технологічних установок засновані на використанні підводного іскрового розряду з характерними для даного виду електровзрива недоліками (низький ресурс електродної системи, високі ударні та акустичні навантаження тощо). Стає очевидним, що для найбільшого ефекту обробки, весь потік рідини необхідно пропустити близько до контактної поверхні плазма-рідина. В роботі була розроблена електророзрядна установка для дослідження знезараження води стимерним короним розрядом. Представлено на рис.1.

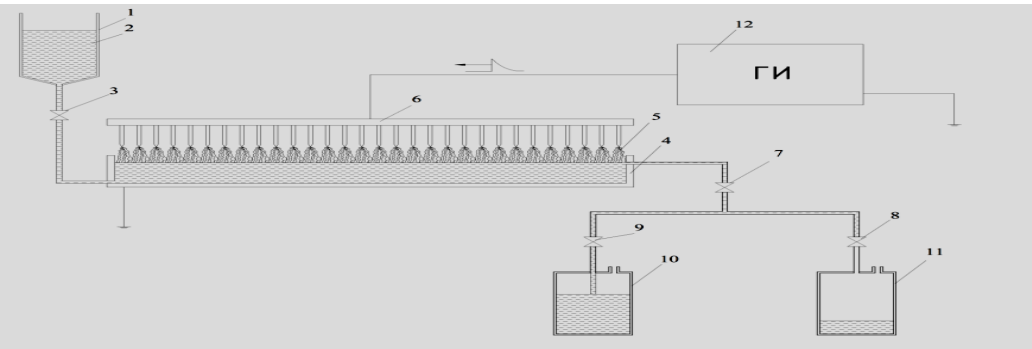


Рис. 1.

На рисунку позначено: 1 − бак для води; 2 − неочищена вода 3 − вентиль; 4 − резервуар для очистки води; 5 − стримерний короний разряд; 6 − електродна система; 7 − 9 − вентилі; 10 − бак з очищеною водою; 11 − бак з неочищеною водою; 12 − генератор.

Джерело живлення складається з низьковольтного високочастотного імпульсного перетворювача, низьковольтного високочастотного імпульсного перетворювача, високовольтного імпульсного трансформатора, обострітель фронта імпульсів та системи управління. Параметри джерела живлення: напруга 50 кВ, тривалістьімпульса від 20 до 50 мкс, тривалість фронта 0,1 мкс, частота слідування імпульсів від 10 до 50 кГц.

Таблиця 1. Результати обробки води у проточному режимі на системі з стримерним коронним розрядом

	Швидкість потоку, л / хв				
	Без обробки	3	2	1	0,5
Енергозатрати, Дж/г	-	13	20	40	80
Колі - індекс	1000	230	50	10	< 10
Мікробне число	200	60	20	10	< 10

Проведено дослідження по знезараженню води за допомогою стримерного короного розряду показали позитивні результати які підтверджують що данний метод може конкурувати з іншими методами по знезараженню води.

УДК 681.51:537.523

Вовченко О. І., д.т.н., чл.-кор.; Козирєв С. С., к.т.н.
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв
Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м. Миколаїв

АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ДВОКОНТУРНИМ ГЕНЕРАТОРОМ ІМПУЛЬСНИХ СТРУМІВ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ВИБУХУ

Високовольтний електрохімічний вибух (ВЕХВ) використовується в технологіях обробки матеріалів імпульсним тиском для імпульсного деформування, технологіях руйнування міцних ґрунтів та скельних порід [1, 2].

Для здійснення високовольтних електрохімічних вибухів у рідкому середовищі подають два послідовні високовольтні імпульси електричного струму з попередньо визначеною енергією та напругою на електроди, між якими знаходиться екзотермічна суміш у водному розчині окислювача. Другий високовольтний імпульс електричного струму подають через певний проміжок часу t з моменту подачі першого імпульсу, що дозволяє подовжити тривалість дії тиску в каналі розряду на рівні, необхідному для підтримки протікання екзотермічної реакції в самопідтримному режимі ($P_{гр}$=23 МПа) та не допустити її згасання до повного згорання екзотермічної суміші. Для подачі двох ініціюючих імпульсів вмкористовується двоконтурний генератор імпульсних струмів , в якому керуючий імпульс на блок запалювання розрядника другого розрядного контуру генератора подається через деякий час [3].

Високовольтний розряд в рідині має стохастичний характер і значення тиску має відносно велике значення дисперсії, тому попередньо визначений час t подачі другого імпульсу не забезпечує в кожній поточній реалізації підтримку тиску в каналі розряду на необхідному критичному рівні. Тиск впродовж попередньо заданого проміжку часу t для подачі другого імпульсу в кожній поточній реалізації із-за стохастичності процесу може знизитись до рівня меншого від $P_{гр}$ і в цьому випадку екзотермічна реакція припиниться. Тому виникає потреба у поточному визначенні моменту подачі другого високовольтного імпульсу розрядного струму в залежності від тиску $P(t)$ поточної реалізації першого імпульсу. Для визначення моменту подачі другого імпульсу двоконтурним генератором імпульсних струмів запропоновано наступний алгоритм (рис. 1).

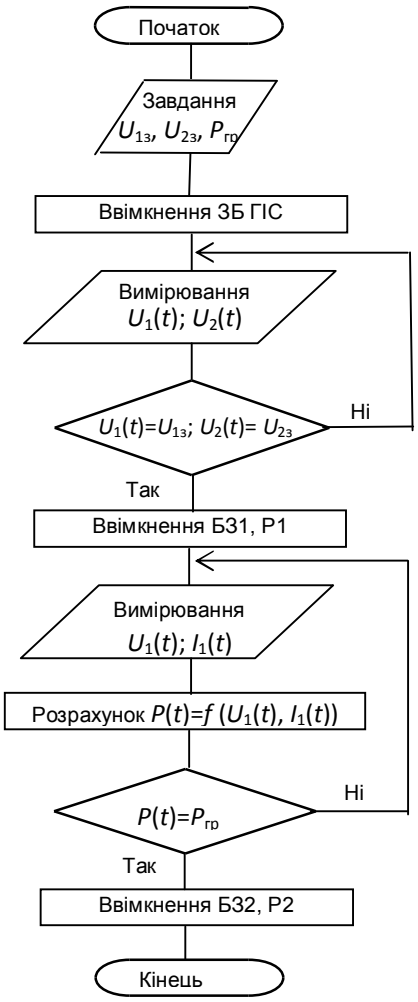


Рис. 1. Алгоритм керування двоконтурним ГІС

Висновки. Визначення моменту подачі другого розрядного імпульсу двоконтурним генератором імпульсних струмів за поточним значенням тиску в каналі розряду, на відміну від встановлення попереднього визначеного часу спрацювання другого розрядного контуру, дозволяє врахувати статистичний розкид тиску при реалізації стохастичного процесу електрохімічного вибуху, уникнути згасання екзотермічної реакції при випадковому із-за стохастичності зниженні тиску до критичної межі в продовж попередньо заданого терміну подачі другого імпульсу та дозволить уникнути втрат і надійно забезпечити більш тривалий час підтримки в каналі ВЕХВ високого надлишкового тиску, вищого за граничний рівень, і стабільно забезпечувати ефективний процес електрохімічного вибуху, підтримуючи при кожній реалізації процесу тиск в каналі розряду вищим за граничний рівень. Це дозволить збільшити кількість виділеної теплової енергії при кожній реалізації, і за рахунок цього підвищити сумарну енергію, що використовується в різних технологічних процесах, не збільшуючи витрати електричної енергії.

Список використаних джерел

1. Гулый Г. А. Научные основы разрядноимпульсных технологий // Киев: Наук. думка, 1990. - 208 с.

2. Вовченко А. И. Управляемые электровзрывные процессы преобразования энергии в конденсированных средах / А. И. Вовченко, А. А. Посохов // Киев: Наук. думка, 1992. - 168 с.

3. Блащенко А. Д. Двухконтурный генератор импульсных токов с регулируемым включением контуров / А. Д. Блащенко, В. Д. Половинка, Р. В. Тертилов // Электронная обработка материалов, 2013, 49 (1), 97–101.

УДК 621.763

Колесник І.А., аспірант, Рябенький В.М., д.т.н.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ОСОБЛИВОСТІ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ СПІКАННІ ПОРОШКОВИХ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛЯХ

Протягом останніх десятиліть ознаменовані підвищеним інтересом до області порошкової металургії. Це пов'язано з можливістю отримувати вироби з матеріалів, які мають більш високі фізико-механічні властивості: щільність, пористість, пружність, твердість і т.п. На даний момент існує велика кількість технологій спікання порошкових матеріалів. Для виробів з порошкових металів в основному застосовується спосіб спікання в муфельних печах. Однак, даний вид спікання має ряд основних недоліків:

- велика тривалість спікання (24 години і більше),
- для забезпечення необхідних інтенсивностей нагріву спікаємих порошкових виробів потрібні муфельні печі великої потужності (30 і більше квт), що погіршує економіку виробництва,
- тривалий час розігріву печі до виходу на потрібну інтенсивність випромінювання (кілька годин),
- низький ККД печі (15-25%) через втрати енергії в навколишнє середовище.

В даний час знаходять застосування нові технології спікання металевих порошків в поле електромагнітного випромінювання (ЕМВ). Такий спосіб спікання вважається найбільш перспективним і ефективним. Дана технологія полягає в опроміненні спікаємої заготівки електромагнітним випромінюванням у вакуумній камері або камері із захисним середовищем. Частота електромагнітних коливань в камері може змінюватися в широких межах від мікрохвильового до ультрафіолетового. Застосування більш високих частот небезпечно, так як це пов'язано з попаданням в зони жорсткої радіації.

Дифузія атомів при спіканні речовини безпосередньо пов'язана з атомними механізмами, за якими здійснюються дифузійні стрибки. У загальному випадку, коли в дифузійному механізмі беруть участь дефекти

кристалів, енергія активації дифузії Q залежить як від енергії створення вузлової вакансії E_f, так і від енергії міграції атома по вузлах гратки структур речовини E_m [1,2,3]:

$$Q = E_f + E_m \quad (1)$$

На величину коефіцієнта дифузії впливають основні два параметри: енергія активації дифузії і температура в спікаємій речовині від нагрівання падаючим електромагнітним випромінюванням.

Як відомо з квантової фізики, атом може поглинати енергію тільки окремими квантами. Енергія кванта визначена формулою Планка:

$$E_{кв} = h\upsilon(Дж) \ , \quad (2)$$

де $h(Дж \cdot c)$ - постійна Планка, $\upsilon(\frac{1}{c})$ - частота випромінювання електромагнітного поля.

Розрахуємо енергію кванта для різних значень частот електромагнітних коливань з метою порівняння їх величини.

У разі мікрохвильового випромінювання ($\upsilon = 10^9 Гц$) величина кванта становить:

$$E_{мік} = h\upsilon = 6.626 \cdot 10^{-25} Дж = 4.125 \cdot 10^{-6} \text{ eB};$$

для інфрачервоного випромінювання ($\upsilon = 10^{12} Гц$):

$$E_{іч} = h\upsilon = 6.626 \cdot 10^{-22} Дж = 4.125 \cdot 10^{-3} \text{ eB};$$

для ультрафіолетового випромінювання ($\upsilon = 10^{15} Гц$):

$$E_{уф} = h\upsilon = 6.626 \cdot 10^{-19} Дж = 4.125 \text{ eB}.$$

Значення енергії активації можна знайти в довідкових даних для кожного речовини. Ця величина, наприклад, для заліза становить від 1,5 до 2,5 еВ в залежності від типу дифузії. Як бачимо, енергія, яка поглинається фотоном ультрафіолетового діапазону (4,125 еВ), цілком достатня для переміщення атома в вакансію

Виходячи з класичних уявлень (тобто з хвильової теорії) процес поглинання енергії атомом має наступний фізичний механізм. Зустрічаючи на шляху свого поширення яку-небудь речовину, ЕМВ залучає в коливальний процес його атомні частки, що володіють зарядом (електрони, іони і ін.), На що йде частина енергії хвилі. Коливання мікрочастинок, в свою чергу, також породжують вторинні електромагнітні коливання, когерентні падаючої хвилі. Енергія падаючого випромінювання переходить також у енергію збудження коливань кристалічної решітки, тобто на нагрів речовини. Збільшення частоти ЕМВ, призводить до різкого зростання енергії кванта, наближаючись до значення бар'єру енергетичного переходу атома в збуджений стан (для атома заліза близько 8 еВ). Електромагнітне випромінювання, пронизуючи яку-небудь речовину, віддає свою енергію його атомним часткам - і в першу чергу електронам, що викликає внутрішні енергетичні переходи мікрочастинок з одного стану в інший і зводиться до двох пов'язаних між собою процесів.

По-перше - до поглинання енергії електромагнітного поля атомними частками; по-друге - до перетворення внутрішньої енергії збуджених атомних частинок в енергію коливань в оптичному діапазоні частот, тобто до появи випромінювання, яке може приймати форми спонтанного (самовільного) і індукованого випромінювань. Залежно від конкретного розподілу часток по енергіях може переважати той чи інший варіант. Якщо спікаєма речовина знаходиться в високочастотному полі ($\upsilon = 10^{15} Гц$) і вище, то атом речовини може поглинати кванти енергії (фотони), здійснити перехід на новий більш високий енергетичний рівень, а потім під впливом цього поля повертатися на основний нижній рівень і випромінювати при цьому також свій квант енергії. Таке випромінювання називається вимушеним або індукованим [4].

Другий параметр, що впливає на швидкість дифузії, це температура в речовині, яка в першу чергу визначається інтенсивністю падаючого випромінювання $I(\frac{Дж}{м^2 \cdot c})$. Знаючи інтенсивність випромінювання і площу поверхні заготовки порошкового речовини $S(м^2)$, на яку падає випромінювання, можна знайти величину теплової енергії Q, що надходить в спікається заготівку за час $t(c)$.

$$Q_1 = ISt\alpha(Дж) , \quad (3)$$

де α визначає коефіцієнт поглинання випромінювання речовиною. У той же час величина поглинаємої теплоти Q визначається за різницею кінцевої і початкової температур речовини $\Delta T = T_1 - T_0$ і теплоємністю металу c_ρ.

$$Q_2 = c_\rho \cdot m \cdot \Delta T(Дж) , \quad (4)$$

де m - маса заготовки.

При поглинанні атомом речовини енергії фотонів випромінювання відбувається виділення додаткового тепла всередині речовини вимушеним випромінюванням (квантовий ефект) у вигляді теплового нагріву кристаліч-

них решіток. Позначимо цю величину Q_3. Ряд досліджень по взаємодії ЕМВ з речовиною називають цю додаткову енергію квантованною температурною добавкою [5].

Розглянемо заготовку, яку помістили в камеру електромагнітного нагрівання, що має поверхню, яка «бомбардується» потоком фотонів. Потік фотонів n через цю поверхню із загальним числом фотонів, які утворюються всередині камери спікання буде дорівнює:

$$n = \frac{I \cdot S_1}{E_{кв} \cdot S_2} (\frac{1}{с \cdot м^2}), \quad (5)$$

де I - інтенсивність випромінювання всередині камери спікання, S_1 - площа поверхні заготовки з порошкового матеріалу, на яку падає світловий потік випромінювача, S_2 - загальна площа дзеркальної внутрішньої поверхні камери спікання (вакуумної камери), $E_{кв}$ -енергія фотона.

Значення виділеної енергії всередині заготовки за час (t) за рахунок вимушеного випромінювання визначиться за формулою:

$$Q_3 = N \cdot W \cdot E_{кв} (Дж), \quad (6)$$

де N - кількість атомів, які здійснюють енергетичний перехід з вимушеним випромінюванням. При рівноважній інверсній заселенності верхнього енергетичного і нижнього рівнів величину N можна прийняти рівною половині кількості атомів в нагрівається заготівлі. W - щільність ймовірності вимушеного випромінювання, дорівнює:

$$W = n \cdot \delta, \quad (7)$$

де δ - перетин переходу. Її можна розглядати як ефективний перетин атома, який орієнтований нормально до фотонного потоку і бере участь у взаємодії з додатковим випромінюванням.

Перетин переходу δ визначається по довжині випромінювання. Якщо довжина ЕМВ менше ($\lambda \approx 10^{-8} см$), то випромінювання називається томсоновскім розсіюванням [6]. У цьому випадку атом сприймається фотоном "як єдине ціле", і фотон обмінюється енергією і імпульсом з усім атомом.

Можна вважати, що джерелом розсіяного випромінювання є пов'язані електрони атома, які приходять в резонансні коливання під дією падаючого випромінювання і, внаслідок цього, випромінюють фотони такої ж частоти. Перетин томсоновского розсіювання залежить від кута розсіювання фотона θ :

$$\delta(\theta) = 0.5 \cdot r_e^2 (1 + \cos^2 \theta),$$

де $r_e^2 = \frac{e^2}{m_e \cdot c^2} = 2.8 \cdot 10^{-15} м$ - класичний радіус електрона. Інтегруючи по всьому можна отримати перетин повного томсоновского розсіювання. Ефективний переріз томсоновского розсіювання, розраховане на 1 електрон, так само:

$$\delta = (\frac{8}{3}) \pi \cdot r_e^2 = 6.55 \cdot 10^{-30} м^2 = 0.66 \text{ барн}. \quad (8)$$

При підвищенні температури заготовки вона загострюється і сама стає джерелом променистого випромінювання:

$$Q_4 = k \cdot T^4 \cdot S_1 \cdot t (Дж), \quad (9)$$

де $k(\frac{Дж}{м^2 \cdot К^4})$ - коефіцієнт Стефана-Больцмана. Величина Q_4 є втратою енергії при нагріванні заготовки.

Складемо загальне рівняння теплового балансу при нагріванні заготівки під впливом, падаючого електромагнітного поля:

$$Q_1 + Q_3 - Q_4 = Q_2. \quad (10)$$

У лівій частині виразу знаходиться теплота, що йде на нагрів заготовки за мінусом втрат, а в правій - ефективна (корисна) теплота, спочатку використовувана на нагрів до потрібної температури, а потім на процеси ізотермічного спікання.

Підставляючи в (10) вирази (4-9) отримаємо рівняння, що зв'язує температуру розігріву речовини заготовки з часом нагріву:

$$I \cdot S \cdot t \cdot \alpha + N \cdot W \cdot E_{кв} - k \cdot T^4 \cdot S_1 \cdot t = c_\rho \cdot m \cdot \Delta T \quad (11)$$

Підставляючи температури заготовки, можна вирішуючи це рівняння четвертого ступеня, визначати значення необхідного часу нагріву:

Висновки. При нагріванні заготовки з металевого порошку електромагнітним полем ультрафіолетового діапазону, в якому присутні кванти (фотони) з великими значеннями, проявляються ефекти енергетичних переходів при взаємодії фотонів з атомами речовини. Додаткова енергія вимушеного випромінювання зростає при збільшенні інтенсивності випромінювання. Дана надбавка енергії присутня не тільки на стадії розігріву,

але і на стадії ізотермічного спікання. За рахунок ефекту поглинання атомами речовини падаючих на поверхню фотонів скорочується час розігріву і подальшого ізотермічного спікання в три - чотири рази. що забезпечить в цілому поліпшення економічних показників виробничих процесів виготовлення деталей з порошкових матеріалів.

Список використаних джерел

1. Мазанко В.Ф., Покоїв А.В., Миронов В.М., Герцрікен Д.С., Миронов Д.В., Степанов Д.І., Луценко Г.В. Дифузійні процеси в металах під дією магнітних полів і імпульсних деформацій [Текст] / Москва: "Машинобудування", 2006 - 323 с.

2. Пайерлс Р. Квантова теорія твердих тіл [Текст] / Москва: ІЛ, 1956.

3. Кірсанов В.В. Фізика. Атомні механізми дифузії і дефекти кристалів [Текст] / Товариський ГТУ. Соровский освітній журнал. Том 7, №9, 2001 - с. 103-108.

4. Мікаелян А.Л., Тер-Мікаелян М.Л., Турков Ю.Г. Оптичні генератори на твердому тілі [Текст] / Москва, Радянське радіо, 1967.

5. Абрикосов А.А. Основи теорії металів [Текст] / Москва, Фізматліт 2010, 600 с.

6. Цитовіч В.Н. Про фізичну інтерпретації томсоновского розсіювання в плазмі [Текст] / УФН 2013 - с. 195-206.

УДК 621.314

Вінниченко Д. В.
Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м. Миколаїв
Назарова Н. С., к.т.н., доцент, Мавродієв О. В.
Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ЕНЕРГОЕФФЕКТИВНИЙ СТАБІЛІЗАТОР НАПРУГИ

З розвитком мікроелектроніки гостро постає проблема електроживлення. Актуальним завданням є зменшення масо-габаритних показників джерел живлення з одночасним підвищенням якості електроенергії, наприклад, за рахунок застосування ефективного малогабаритного стабілізатора напруги.

Мета і завдання роботи: розробити ефективний малогабаритний стабілізатор напруги; визначити критерій підвищення ефективності; розробити схему, що реалізує запропоновану оптимізацію.

Як критерій підвищення ефективності стабілізуючого пристрою джерела живлення доцільно вибрати ККД. З існуючих методів підвищення ККД найефективнішим є метод зниження втрат на регулюючому елементі (РЕ). Відомо що мінімальні втрати потужності на регульованому елементі має імпульсний стабілізатор напруги (ІСН) [1,2].

Для електроживлення систем керування обладнання разрядноімпульсних технологій частота перемикання ІСН перебувати в межах від 20 до 500 кГц при вихідний потужності до 1 кВт. При підвищенні частоти перемикання можна забезпечити кращі динамічні характеристики стабілізатора, зменшити габаритні розміри і масу фільтра, що згладжує, однак при цьому зростуть втрати в ключових елементах і зменшиться ККД стабілізатора. Комутаційне перевантаження транзистора по струму (співвідношення імпульсного струму колектора і струму навантаження) визначається інерційністю діода і залежить від властивостей транзистора. Таким чином, енергетичні втрати будуть тим більше чим краще імпульсні властивості транзистора і гірше імпульсні властивості діода. Іншим фактором зниження ККД ІСН є паразитне падіння напруги на транзисторі і діоді (приблизно від 1,9 до 2,5 В на відкритому транзисторі і від 0,5 до 1,1 В на діоді в залежності від струму, що протікає). Особливо сильно це явище позначається при вихідних напругах, близьких до напруги падіння на РЕ.

Проведено дослідження класичної схеми знижуючого ІСН з використанням у якості регулюючого елементу біполярним й польовим транзисторами (рис. 1) й запропонованої авторами схеми ІСН з MOSFET та синхронним діодом на польовому транзисторі (рис. 2). Проведено порівняння ефективності стабілізаторів напруги (табл.). Для усіх схем забезпечувались такі вхідні та вихідні характеристики: Uвх =10,8 В, Uвих =5 В, Iн =0,8 А.

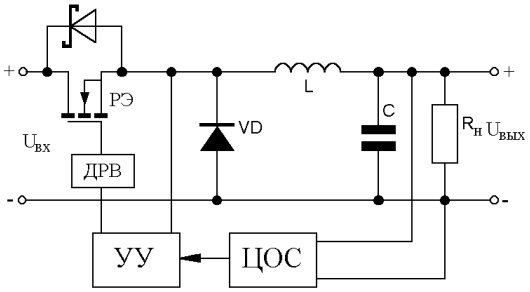


Рис. 1.

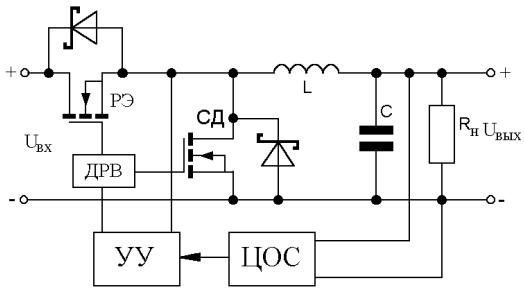


Рис. 2.

Таблиця 1. ККД стабілізаторів напруги

Схема СН	ККД
Лінійний стабілізатор L7805C	46,3 %
ІСН з біполярним ключем й Si діодом	80 %
ІСН з MOSFET і діодом Шотткі	91 %
ІСН з MOSFET та синхронним діодом на польовому транзисторі	94 %

Висновки. Для забезпечення максимального значення обраного критерію ефективності стабілізатора напруги - ККД, були розроблені спеціальні схеми, які використовують властивості сучасних MOSFET і діодів Шотткі, що дозволило знизити енергоспоживання пристроїв живлення.

Список використаних джерел

1.Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. - М.: Мир, 1982. – 512 с.

2. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. – К.: Вища школа, 1989. – 431 с.

СЕКЦІЯ 6. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА

УДК 004.52

Прищепов Е. О.
Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев

РЕЧЕВОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО

Под системами автоматического синтеза речи (иначе их еще называют синтезаторами речи) в настоящее время понимают системы, преобразующие орфографический текст и другую информацию в звучащую речь [1]. В настоящее время технология синтеза речи широко применяется в самых различных отраслях техники.

Можно выделить три основные группы методов синтеза речи [2]:

– параметрический синтез;

– компилятивный синтез;

– полный синтез речи по правилам.

Задача качественного синтеза речи предъявляет достаточно высокие требования к техническим характеристикам вычислительных систем и устройств, на базе которых она реализуется. Это обстоятельство существенно сказывается на стоимости последних.

Выходом из сложившейся ситуации может служить применение технологий облачных вычислений. На сегодняшний день в сети «Интернет» существуют сетевые сервисы, реализующих синтез речи высокого качества по запросу. Это позволяет создавать достаточно простые и дешевые информационные устройства, обеспечивающие голосовой вывод информации. При этом информация, требующая голосового вывода, также может предоставляться сетевыми сервисами, расположенными в сети «Интернет».

Было разработано речевое информационное устройство, обеспечивающее вывод голосового сообщения о текущей погоде. Схема взаимодействия этого устройства с сетевыми сервисами представлена на рис. 1.

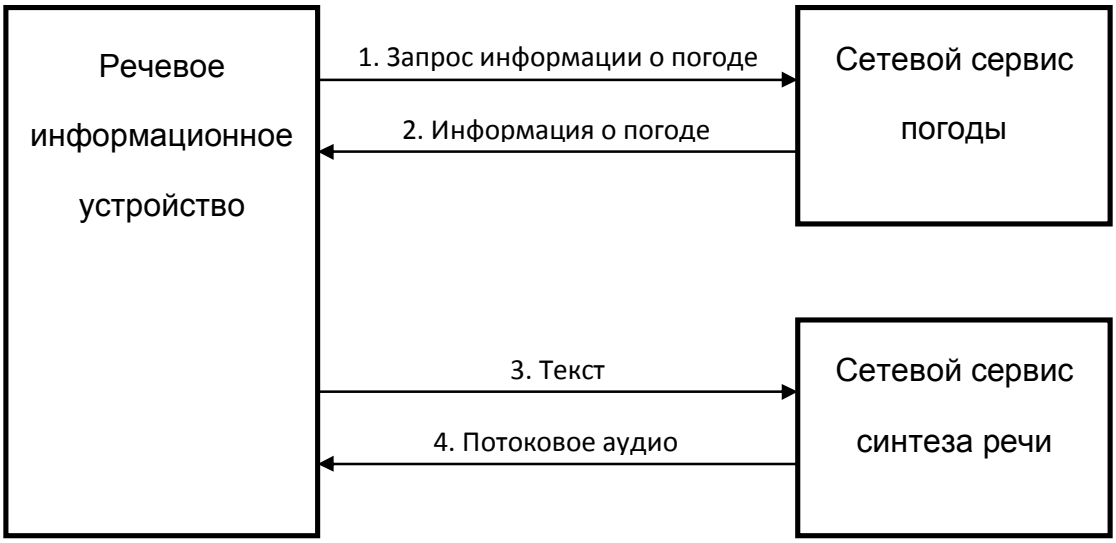


Рис. 1.

После подачи питания речевое информационное устройство устанавливает связь с сетью «Интернет» при помощи беспроводной технологии Wi-Fi. При нажатии пользователем кнопки речевое информационное устройство посылает запрос информации о текущей погоде сетевому сервису погоды. Последний обрабатывает принятый запрос и возвращает запрошенную информацию о погоде. Далее речевое информационное устройство на основе полученной информации формирует текст, удобный для восприятия человеком. Данный текст в виде запроса посылается сетевому сервису синтеза речи. На основе полученного текста данный сервис синтезирует речь и отправляет ее в виде цифрового потокового аудио речевому информационному устройству. Последнее при помощи программного аудио декодера и аппаратных средств преобразует цифровое потоковое аудио в звук, который слышит пользователь.

Структурная схема речевого информационного устройства представлена на рис. 2.

Блок питания обеспечивает преобразование переменного напряжения ~220 В в постоянное напряжение =12 В. Стабилизатор напряжения понижает напряжение, поступающее на него от блока питания, до напря-

жения =3,3 В и стабилизирует его. Данное напряжение используется для питания выпускаемого промышленностью модуля ESP-01, а также усилителя.

Модуль ESP-01 построен на базе микроконтроллера ESP8266, оснащенного интерфейсом Wi-Fi. Функциональность речевого информационного устройства обеспечивается программой, записанной в микросхему памяти, установленной на плате модуля ESP-01 и подключенной к микроконтроллеру при помощи интерфейса SPI. К модулю ESP-01 подключена кнопка (на рис. 2. не показана), при нажатии на которую пользователь может получить информацию о текущей погоде в виде речи.

Усилитель, выход которого соединен с динамиком, построен на базе одного биполярного транзистора.

Рис. 2.

Был собран действующий макет речевого информационного устройства, который обеспечивает приемлемое качество речи при чрезвычайно низкой стоимости.

При внесении изменений в программу, исполняемую микроконтроллером ESP8266, речевое информационное устройство может быть использовано для предоставления пользователю информации другой тематики, например, новостей, биржевых курсов валют и многого другого.

Список использованных источников

1. Рыбин С. В. Синтез речи : Учебное пособие по дисциплине «Синтез речи» [Текст] / С. В Рыбин. – СПб.: Университет ИТМО, 2014.

2. Сорокин В. Н. Синтез речи [Текст] / В. Н Сорокин. – М.: Наука, 1992.

интез речи [Текст] / В. Н Сорокин. – М.: Наука, 1992.

УДК 004.934.2: 534.442.6

Нужний С. М.., к.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ОЦІНКА РІВНЯ ЗАХИЩЕНОСТІ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ВИТОКУ АКУСТИЧНИМИ ТА ВІБРАЦІЙНИМИ КАНАЛАМИ

Головним завданням системи управління інформаційною безпекою (УІБ) на об’єкті інформаційної діяльності (ОІД) є прогнозування та виявлення інцидентів (порушень), визначення величини і характеру впливу на безпеку інформаційних ресурсів та розробка заходів для запобігання їх виникнення/повторення. З урахуванням складності визначення настання початкової (підготовчої) стадії інциденту та безпосередньо прихованого несанкціонованого перехоплення зловмисником інформації з обмеженим доступом (зазначену дію можливо встановити тільки постфактум за величиною отриманих збитків), головними пріоритетами УІБ є проведення профілактичних заходів, які повинні по максимуму запобігти виникненню інцидентів.

Існуючий набір методів захисту складається з:

– організаційних заходів;
– пасивних систем звукоізоляції;
– пристроїв постановки активних завад.

Тобто є обмеженим та має ряд суттєвих недоліків.

З вказаних методів, на даний час, третя група є вирішальною – вона надає можливість забезпечити необхідний рівень захищеності, але при цьому виникає декілька супутніх недоліків:

а) рівень завади є демаскуючим фактором, тобто можлива дискредитація об'єкту та заходу;

б) рівень завади в приміщенні негативно впливає на здоров'я та працездатність персоналу.

Одночасно з цим, як показано в [1-3], використання пристроїв постановки активної завади, в наш час, не дає гарантії повного захисту інформації з обмеженим доступом. Можна виділити два найбільш описаних напрямки, які можуть бути використані зловмисниками:

– зняття інформації з декількох точок, що дозволяє забезпечити досить якісну фільтрації завади;

– використання методів цифрової фільтрації та очищення фонограм від шумової завади.

На даний момент в Україні використовується технологія визначення рівня захищеності інформації, яка озвучується на ОІД, від витоку акустичним та вібраційними каналами за рахунок визначення інтегрального співвідношення сигнал/завада довготривалого спектру мовного сигналу для октавних та ⅓-октавних смуг. Дослідження проводяться з використанням генератору білого шуму.

Метою даного дослідження є визначення впливу рівня шумової завади на можливість відновлення тест-сигналу, на який накладено в певному співвідношенні шумову заваду, та визначення коефіцієнту залишкової розбірливості мови на основі коефіцієнт деструктивних змін фонемної структури тест-сигналу після проведення процедури фільтрації.

Особливістю дослідження є використання в якості критерія захищеності мовної інформації її залишкової розбірливості [4], яка визначається за вдосконаленою технологією [5]. В основу методу покладено принципи визначення коефіцієнту (індексу) розбірливості мови (*Speech Intelligibility Index – SII*) [6]; коефіцієнту (індексу) артикуляції (*Articulation Index – AI*) [1,6,7]; коефіцієнту словесної розбірливості мови (*W*) [1]; класу (коефіцієнту) захищеності мови (*Speech Privacy Class – SPC*) [7,8] та відношення сигнал/завада в мовному діапазоні частот (*uniform-weighted signal-to-noise ratio – SNRuni*32) [7,8].

Технологія, яка основана на використанні енергетичних параметрів має ряд важливих переваг – простота проведення досліджень, поширеність лабораторного обладнання та очевидність отриманих результатів. Одночасно з цим, така технологія має й суттєвий недолік – оцінювання рівня захищеності мовної інформації за коефіцієнтом *SNR* означає, що знаходиться відношення середньоквадратичних рівнів інтенсивності сигналу та завади. По відношенню до сигналу, в якості якого зазвичай використовується білий шум (або його «клони» – «рожевий», «блакитний» та аналогічні шуми), такий підхід є виправданим. Але, по відношенню до мовного сигналу, такий підхід, навіть з розділом частотного спектру по ⅓-октавним смугам, є недопустимим.

При заміні мовного сигналу, який має випадкову форму, його середньоквадратичними рівнями, навіть при використанні розділу частотного спектру по ⅓-октавним смугам, виникає значна розбіжність між піковими значеннями та середньоквадратичним рівнем.

Цей недолік в [4] намагаються виправити за рахунок введення коефіцієнтів *SPC* та *SNRuni*32.

Порівняння коефіцієнтів *SPC* (за [7,8]) та *SNR* (за [1,9]), в тлумаченні, яке прийняте на пострадянській території, і коефіцієнту словесної розбірливості мови *W* [1] наведено в табл.1.

Оцінювання рівня захищеності мовної інформації на основі очищеної фонограми можна виконати наступними методами:

1. Лінгвістична експертиза усного мовлення.
2. Визначення коефіцієнту SII на основі кореляційного аналізу оригіналу тест-сигналу та «очищеного» сигналу.
3. Визначення коефіцієнту залишкової розбірливості мови.

В роботі пропонується введення нового критерію оцінювання рівня захищеності мовної інформації – коефіцієнту *RII* (*Residual intelligibility index* – коефіцієнту залишкової розбірливості мови (КЗРМ)), який визначається з виразу:

$$S^R = \frac{1}{m}\sum_{y=1}^{m}\left[R_y^a H_y \sum_{i=1}^{n} I_i A_i\right], \qquad (1)$$

де *m* – загальна кількість алофонів в слові; R^a – коефіцієнт важливості розпізнавання алофону для розпізнавання слава (фрази, речення); *H* – коефіцієнт частоти вживання даного алофону в мові, *n* – кількість ⅓-октавних смуг по яких розраховується коефіцієнт (*n* = 18 або 21); *I* – коефіцієнт вагомості інформації в смузі для розпізнавання алофону; *A* – коефіцієнт якості розпізнавання інформації в смузі.

Якщо прийняти, що $R_y^a H_y \sum_{i=1}^{n} I_i A_i = K^R$, то K^R – коефіцієнт деструктивних змін алофону, який виражає вплив шумової завади на форму та частото-часовий спектр алофону. Структурно коефіцієнт враховує дві складові розпізнавання мови: лінгвістичну ($R_y^a H_y$) та формантну ($\sum_{i=1}^{n} I_i A$).

Таблиця 1. Взаємопов'язаність коефіцієнтів *SPC* (за [4,16]) та *W* і *SNR* за [17]

Рівень	*SPC*			CMP	*SNR*	
	Опис рівня захисту мови	Числове значення, дБ	Частота розпізнавання	*W*, %	Опис рівня захисту мови	Числове значення, дБ
Standard speech privacy	Іноді зрозуміла і часто чутна	≤ 70	1 коротка фраза за 2 хв.	40	Часткове приховування змісту переговорів у ВП	– 6
Standard speech security	Дуже зрідка зрозуміла і іноді чутна	70 – 80	1 коротка фраза за 15 хв. – 1 год	30	Значне приховування змісту переговорів у ВП	– 8
High speech security	За суттю не зрозуміла і дуже зрідка чутна	80 – 85	1 коротка фраза за 2 – 4,5 год	20	Приховування предмета переговорів у ВП	– 10
Very high speech security	Нерозбірлива й по суті не чутна	> 85	1 коротка фраза за 16 – 20год	10	Приховування факту ведення переговорів в ВП	– 13

Висновки. Запропоновано введення шкали об'єктивного оцінювання ступеню захищеності мовної інформації на межі контрольованої зони за критерієм залишкової розбірливості мови, основаного на визначенні коефіцієнта деструктивних змін фонемної структури тест-сигналу після його відновлення методами фільтрації, (в тому числі з використанням вейвлет-перетворення, та фонемно-кореляційного аналізу), що дозволяє оцінювати рівень захищеності мовної інформації з більшою достовірністю.

Список використаних джерел

1. Хорев, А.А. Методы защиты речевой информации и оценки их эффективности / А.А. Хорев, Ю.К. Макаров // Специальная техника. – 2001. – № 4. – С. 22 – 33.

2. Лобов, В.А. Оценка возможностей перехвата речевой информации при реализации метода многоканального съёма / В.А. Лобов, А.В. Сиромашенко, П.В. Чернышов // Вопросы защиты информации. – 2007. – № 4. – С. 27-35.

3. Нужний, С.М. Оцінка захищеності мовної інформації при зашумленні і синхронному вимірюванні з двох точок / С.М. Нужний, Ю.І. Касьянов // Матеріали IV-ої Міжнародної науково-технічної конференції «За-хист інформації і безпека інформаційних систем» – Львів: НУ «Львівська політехніка». – 2015. – С. 175 – 176.

4. Касьянов, Ю.І. Щодо критеріїв оцінювання захищеності мовної інформації / Ю.І. Касьянов, С.М. Нужний // Актуальні проблеми забезпечення інформаційної та кібернетичної безпеки Матеріали третьої міжнародної науково-технічної конференції. Збірник тез. – Київ: ДУТ, 2017. – С. 19-25.

5. Нужний, С.М. Удосконалена технологія оцінки ступеня захисту мовної інформації / С.М. Нужний // "Сучасний захист інформації". – 2018. №1(33). – С.66-73.

6. ANSI/ASA S3.37-1987 (R2017) American National Standard Preferred Earhook Nozzle Thread for Postauricular Hearing Aids / STANDARD by American National Standards of the Acoustical Society of America, 1987.01.01.

7. ASTM E2638-10 ASTM Intl., West Conshohocken, PA.

8. Bradley, J.S., Gover, B.N. (2010) A new system of speech privacy criteria in terms of Speech Privacy Class (SPC) values. Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA 2010, 23-27 August 2010, Sydney, Australia. Available at: https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/accepted/?id=cf69d165-7fb1-46c9-b60f-e6c8020b0c11

9. Хорев А. А. Оценка возможностей средств акустической (речевой) разведки. Специальная техника. 2009. № 4. С. 49–63.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ 3

Волянська Я. Б., к.т.н., Волянський С. М., к.т.н., Підлубний Д. О., Біленький О. О. Аналіз можливостей підвищення точності стабілізації судна на заданому курсі. 3

Калінін В. Р., Вінниченко І. Л. Структура системи управління та віддаленого контролю резонансним перетворювачем 4

Герасин А. С., Килиманов Б. А. «Умный» почтовый ящик, как компонент «Умного дома» 7

Тарабцев М. В., Герасин А. С. Особенности контроля прижимного усилия мобильного робота 8

СЕКЦІЯ 2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД 11

Білюк І. С., Савченко О. В., Шарейко Д. Ю., Фоменко А. М.,Ольшевський С. І. Система керування крокови-ми двигунами для промислового технологічного обладнання з числовим програмним керуванням 11

Білюк І. С., Савченко О. В., Шарейко Д. Ю., Фоменко А. М.,Ольшевський С. І. Блок живлення силових кіл лабораторного стенда 12

Васильєв О. Г., Петруня М. П., Матюшин Ю. С., Танасевич В. І.. Пристрій керування зусиллям захват-ного пристрою маніпулятора 14

Білюк І. С., Жажка А. Р., Проценко В. С., Оружак І. В. Синтез систем керування електроприводів металo-різальних верстатів 16

Бугрім Л. І., Кравченко В. С. Підвищення ефективності системи керування електропривода шнекового дозатора 16

СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ КОМПЛЕКСИ, ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ 18

Александровський С. Ю., Бандура С. І. Практична реалізація датчика активного і реактивного струму . 18

СЕКЦІЯ 4. ПІДВОДНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ 20

Блінцов О. В., Корицький В. І.,. Удосконалення системи автоматичного керування просторовим рухом телекерованого підводного апарата в умовах невизначеності 20

Блінцов О. В., Бурунiна Ж. Ю., Войтасик А. М. Автоматичне керування вантажним самохідним підвод-ним носієм в умовах невизначеності 22

СЕКЦІЯ 5. ІМПУЛЬСНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ 25

Гунько В. І., Дмитрішин О. Я., Фещук Т. А. Аналіз діелектричних матеріалів для діелектричної системи високовольтних імпульсних конденсаторів, що експлуатуються в режимах з високою частотою проходження імпульсів 25

Гунько В. И., Перекупка И. А., Топоров С. О.. Тенденции создания высоковольтных импульсных конден-саторов для погружных электроразрядных комплексов 28

Малюшевская А. П., Малюшевский П. П. Электроразрядная интенсификация процесса делигнификации льноволокна 30

Богуславський Л. З., Адамчук Ю. О., Иващенко В. А. Аналіз товщини вуглецевого наноструктурованого покриття на конструктивних поверхнях 31

Брагін Д. С., Юрочко Д. І. Вимірювання електричних характеристик низьковольтного розряду у рідкоме-талевому провіднику 33

Козирєв С. С., Назарова Н. С., Овчиннікова Л. Є., Овсянников В. М. Побудова моделі керування техно-логічним процесом електророзрядного синтезу нановуглецю у вигляді графа 34

Богуславський Л. З., Драган Г. С. Електророзрядна установка для обробки рідких середовищь багатофакільною імпульсною короною 37

Вовченко О. І., Козирєв С. С. Алгоритм керування двоконтурним генератором імпульсних струмів для реалізації високовольтного електрохімічного вибуху 38

Колесник І. А., Рябенький В. М. Особливості фізичних процесів при спіканні порошкових металевих матеріалів в електромагнітних полях..... 39

Вінниченко Д. В., Назарова Н. С. Енергоефективний стабілізатор напруги 42

СЕКЦІЯ 6. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА..... 44

Прищепов Е. О. Речевое информационное устройство..... 44

Нужний С. М. Оцінка рівня захищеності мовної інформації від витоку акустичними та вібраційними каналами..... 45

Наукове видання

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ – 2019

ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

4–5 квітня 2019 року

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Центральний, 3, м. Миколаїв

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

(*українською і російською мовами*)

Відповідальний за випуск О. О. Черно
Комп'ютерна верстка О. О. Черно
Макетування А. В. Платонова

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. 5,9. Тираж 100. Зам. № 43
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail: publishing@nuos.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.

Для нотаток

Для нотаток