

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Академія наук суднобудування України

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ – 2018

МАТЕРІАЛИ

ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

5–6 квітня 2018 року

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

Миколаїв • НУК • 2018

УДК 681.5:621.3
ББК 81а73
С 89

ОРГАНІЗАТОРИ:

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Академія наук суднобудування України

**Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами.
Претензії до організаторів не приймаються.
Відповідальний за випуск О. О. Черно**

Сучасні проблеми автоматики та електротехніки : матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2018. – 120 с.
С 89

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
ББК 81а73

© Національний університет кораблебудування,
імені адмірала Макарова, 2018

СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ

УДК 681.518.3

Прищепов Е. О.

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев

ГЕНЕРАТОР ЗОНДИРУЮЩИХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ РЕФЛЕКТОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

Метод импульсной рефлектометрии, основанный на анализе реакции исследуемого объекта на зондирующий импульс, применяется в различных приборах и системах для измерения уровня сред, определения мест повреждений в линиях связи, а также во многих других областях науки и техники [1]. Приборы и системы, принцип действия которых основан на данном методе, называются рефлектометрическими.

В качестве зондирующих импульсов наиболее часто используются видеоимпульс и перепад напряжения. Большинство существующих способов генерации зондирующих импульсов основано на использовании современных быстродействующих полупроводниковых переключающих элементов – туннельных диодов, лавинных транзисторов, диодов с накоплением заряда и др., в которых скорость переключения определяется внутренними процессами в элементе [1].

В случаях, когда достаточно, чтобы длительность видеоимпульса или длительность фронта перепада напряжения были порядка нескольких наносекунд, для генерации зондирующих импульсов можно использовать логические интегральные схемы. Поскольку каждый вентиль логической интегральной схемы обладает пороговыми свойствами и усилением по напряжению, фронт импульса на выходе вентилля будет короче, чем на входе [2]. Временные параметры генерируемых импульсов в данном случае определяются в основном быстродействием логической интегральной схемы.

Предлагается схема генератора зондирующих импульсов (ГЗИ) на базе быстродействующей логической интегральной схемы 74AC00, содержащей четыре логических элемента 2И-НЕ. Данная схема позволяет генерировать как видеоимпульс, так и перепад напряжения.

Модель ГЗИ, созданная при помощи программы Micro-Cap, представлена на рис. 1.

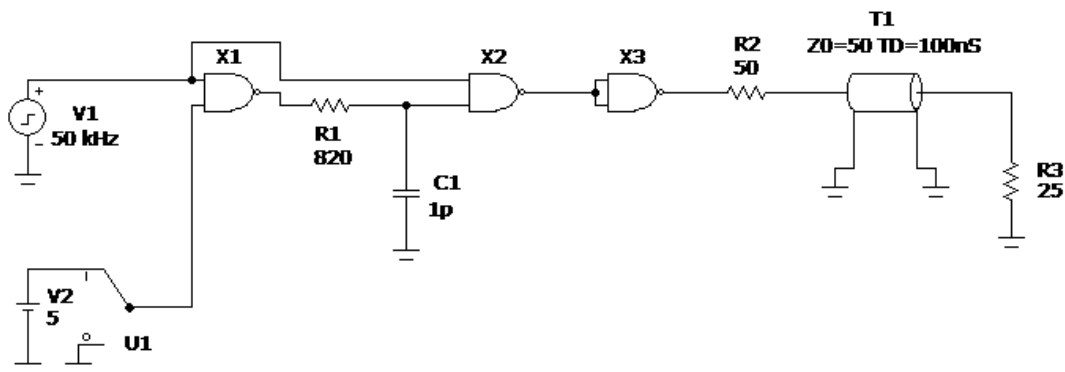


Рис. 1

Запуск ГЗИ в модели осуществляется от генератора прямоугольных импульсов с частотой 50 кГц. При установке переключателя U1 в положение «1» генерируются видеоимпульсы. В данном случае вентили X1 и X2 включены по схеме одновибратора, запускаемого от генератора прямоугольных импульсов. При установке переключателя U1 в положение «0» генерируются перепады напряжения. В данном случае фронты сигналов от генератора прямоугольных импульсов, минуя вентиль X1, обостряются при прохождении через вентиль X2. Вентиль X3 в обоих случаях является буферным и служит для дополнительного обострения фронта зондирующего импульса. К выходу вентилля X3 (выходу ГЗИ) через согласующий резистор R2 подключен кабель T1 с волновым сопротивлением 50 Ом, нагруженный на конце резистором R3. Это позволяет смоделировать решение задачи определения мест повреждений в линиях связи.

На рис. 2 представлена смоделированная рефлектограмма, полученная при посылке в кабель видеоимпульса, а на рис. 3 – при посылке в кабель перепада напряжения.

Рефлектограммы снимались в точке подключения кабеля T1 к согласующему резистору R2. Предлагаемая схема ГЗИ позволяет генерировать импульсы с фронтами длительностью от 5 нс.

Способ генерации зондирующих импульсов на базе быстродействующей логической интегральной схемы имеет ряд преимуществ перед другими существующими способами. Главными из них являются низкая цена и отсутствие необходимости в настройке.

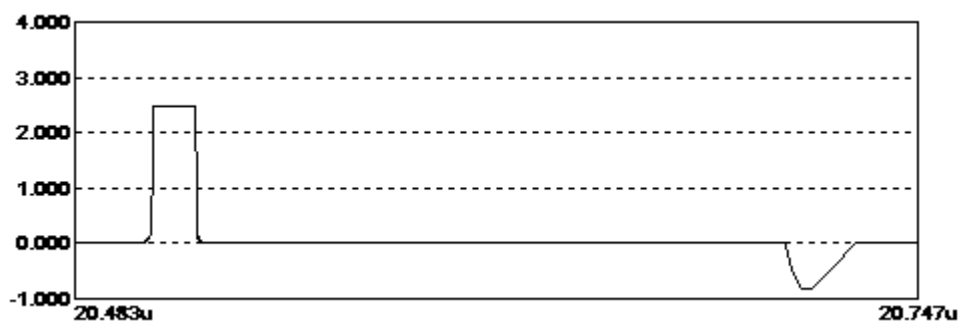


Рис. 2

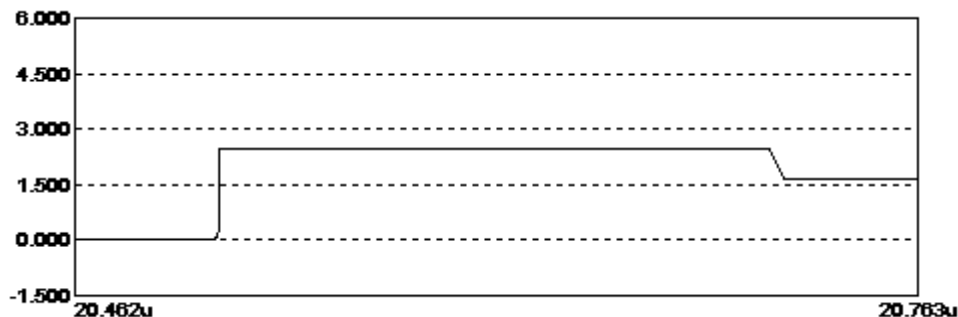


Рис. 3

Список использованных источников

1. Глебович Г. В. Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов [Текст] / Г. В. Глебович, А. В. Андриянов, Ю. В. Введенский и др.; Под ред. Г. В. Глебовича. – М.: Радио и связь, 1984.
2. Мелешко Е. А. Наносекундная электроника в экспериментальной физике [Текст] / Е. А. Мелешко. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 216 с.

УДК 681.518.3

Прищепов Е. О.

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев

ПОДКЛЮЧЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ ЗОНДИРУЮЩИХ ИМПУЛЬСОВ К ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТАМ СИСТЕМЫ «САДКО»

Для измерения параметров хранения жидких и сыпучих сред, таких, как уровень, положение границы раздела несмешиваемых сред, температура, была разработана информационно-измерительная система «САДКО» [1]. Для измерения первых двух параметров используется метод импульсной рефлектометрии [2].

Чувствительные элементы (ЧЭ) системы представляют собой двухпроводные линии, подключаемые к генераторам зондирующих импульсов (ГЗИ). Зондирующие импульсы наносекундной длительности, вырабатываемые ГЗИ, посылаются в ЧЭ и отражаются от неоднородностей его волнового сопротивления. Параметры отраженных импульсов позволяют определять уровень и положение границы раздела несмешиваемых сред.

Схема непосредственного подключения ЧЭ к ГЗИ приведена на рис. 1.

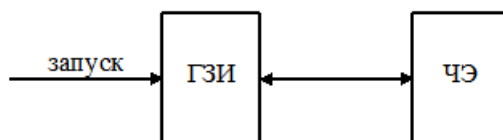


Рис. 1

Такой тип подключения приводит к появлению мертвой зоны в верхней части ЧЭ. Длина мертвой зоны l_{DZ} зависит от скорости распространения зондирующего импульса в ЧЭ и от его длительности:

$$l_{DZ} = \vartheta \cdot t_z, \quad (1)$$

где ϑ – скорость распространения зондирующего импульса в ЧЭ, t_z – длительность зондирующего импульса.

Для устранения мертвой зоны в верхней части ЧЭ можно подключить ЧЭ к ГЗИ через линию задержки (ЛЗ), как показано на рис. 2.

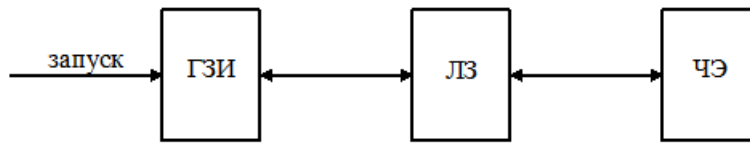


Рис. 2

Однако при таком подключении необходимо, чтобы волновые сопротивления ЛЗ и ЧЭ совпадали. В качестве самой простой и надежной ЛЗ можно использовать коаксиальный кабель, длина которого l_c должна удовлетворять следующему условию:

$$l_c \geq \vartheta \cdot t_z, \quad (2)$$

В качестве ЛЗ удобно использовать самые распространенные коаксиальные кабели с волновыми сопротивлениями 50 Ом и 75 Ом. Коаксиальные кабели с большими значениями волновых сопротивлений в продаже встречаются значительно реже.

Однако, ЧЭ с волновыми сопротивлениями 50 Ом и 75 Ом имеют существенный недостаток – слишком маленькое расстояние между поверхностями проводников. Это повышает риск быстрого загрязнения ЧЭ, что может повлиять не только на точность, но даже и на саму возможность проведения измерений. Ввиду вышесказанного, можно сделать вывод, что задача согласования ЛЗ с ЧЭ является актуальной.

Для решения задачи согласования ЛЗ с ЧЭ предлагается использовать в качестве ЛЗ трансформатор напряжения на отрезках длинных линий [3]. Схема такого трансформатора с коэффициентом трансформации $n=2$ приведена на рис. 3.

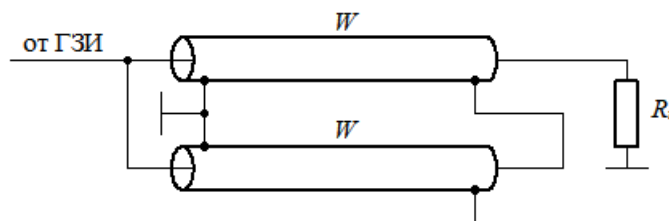


Рис. 3

Коэффициент трансформации n равен количеству отрезков длинных линий, включенных в соответствии с данной схемой. Возможно применение большего количества отрезков длинных линий, чем показано на рис. 3. Трансформация происходит за счет параллельного соединения входов и последовательного соединения выходов отрезков длинных линий, где происходит суммирование импульсов. При этом отрезки длинных линий должны иметь одинаковую длину.

Сопротивление нагрузки R_H для схемы на рис. 3 должно удовлетворять условию:

$$R_H = n \cdot W, \quad (3)$$

где W – волновое сопротивление одного отрезка длинной линии.

Если в качестве нагрузки R_H использовать ЧЭ с волновым сопротивлением 150 Ом, то трансформатор может состоять из двух отрезков длинных линий (коаксиальных кабелей) с волновыми сопротивлениями 75 Ом, соединенных согласно схеме, приведенной на рис. 3. Конструкция ЧЭ с волновым сопротивлением 150 Ом меньше подвержена загрязнению при эксплуатации.

Для экспериментальной проверки возможности использования трансформатора напряжения на отрезках длинных линий в качестве ЛЗ был собран экспериментальный стенд. Эксперименты показали, что трансформатор напряжения на отрезках длинных линий может быть использован в качестве ЛЗ.

Список использованных источников

1. Гордеев Б. Н. Применение метода импульсной рефлектометрии для измерения уровня и расстояния до раздела жидких сред [Текст] / Б. Н. Гордеев, А. Ю. Грешнов, Ю. Д. Жуков, Е. О. Прищепов // Изв. вузов. Электромеханика. – 1995. – №4. – с.27-29.
2. Глебович Г. В. Исследование объектов с помощью пикосекундных импульсов [Текст] / Г. В. Глебович, А. В. Андриянов, Ю. В. Введенский и др.; Под ред. Г. В. Глебовича. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.
3. Кремнев В.В. Методы умножения и трансформации в сильноточной электронике [Текст] / В. В. Кремнев, Г. А. Месяц. – Новосибирск.: Наука. 1987.

УДК 621.373.52

Демідов І. А.

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

РОЗРОБКА ПЕРЕДАВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ЗАСОБІВ РАДІОМОНІТОРИНГУ

Знання та уміння з принципів радіозв'язку, будови приймальних та передавальних пристроїв, засобів радіомоніторингу та радіопротидії є необхідними для фахівця з інформаційної безпеки та технічного захисту інформації. Особлива увага має бути приділена практичній підготовці. При розробці навчальних стендів слід урахувати можливості лабораторій, використання частотного ресурсу, що регламентується нормативними документами. Це пов'язано з тим, що в кожній країні є свої службові частоти, користуватися якими може лише держава, а також встановлюються міжнародні частоти, такі як «частоти лиха» та інші. Створення лабораторного стенду з вивчення принципів роботи радіо-передатчика, його характеристик и можливостей є актуальною задачею в наш час.

Базуючись на вище перерахованих вимогах запропоновано схемотехнічне рішення передавача з частотою 100 МГц (рис. 1), який буде перероблено на частоту 1,29 ГГц. Це пов'язано з тим, що для випробування лабораторного комплексу потрібно рознесення антен приймача і передавача на відстань близько 10 довжин хвиль один від одного, що при частотах 100 МГц становило б близько 30 м. Так як лабораторія набагато менше заявлених параметрів, необхідно зменшити довжину розгортання комплексу підвищенням частоти його роботи. При цьому необхідно дотримуватися закону України про радіочастотні діапазони і аматорські частоти, описані в [1, 2]. На основі таких міркувань було обрано і перероблено схему, представлену на рис. 3.1. [3]

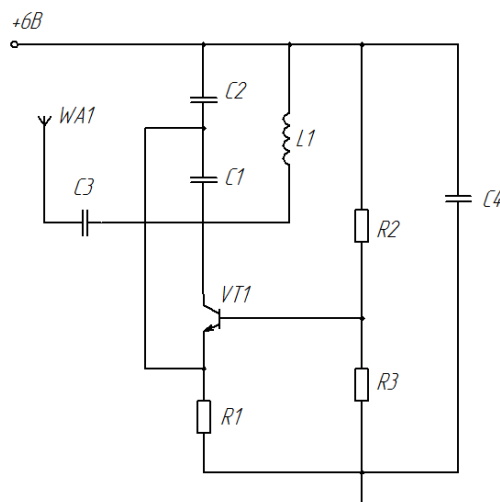


Рис. 1

Пристрій являє собою малопотужний передавач, що працює в діапазоні ультрависоких частот (УВЧ) з використанням частотної модуляції. Дальність дії передавального засобу близько 10 м. Особливість схеми полягає в тому, що передавач зібраний на транзисторі VT1 типу 2SC2570, і живиться напругою 6,3 В. Транзистор 2SC2570 був обраний тому, що він дозволяє працювати на частотах до 5 ГГц. Характеристики транзистора представлені табл.1. [4]

Табл.1

Тип матеріалу	Si
Полярність	n-p-n
Максимальна потужність, що розсіюється (P_c), Вт	0.25
Максимально допустима напруга колектор-база (U_{cb}), В	25
Максимально допустима напруга емітер-база (U_{eb}), В	3
Максимальний постійний струм колектора (I_c), А	0.07
Гранична температура р-п-переходу (T_j), град	150
Гранична частота коефіцієнта передачі струму (f_t), Гц	5000
Ємність колекторного переходу (C_c), пФ	0.7
Статичний коефіцієнт передачі струму (h_{fe})	40
Корпус транзистора	TO92

Частотна модуляція здійснюється шляхом зміни ємностей переходів цього транзистора при зміні живлячої напруги. Задаючий генератор виконаний на транзисторі *VT1* по схемі із загальною базою. Напруга зворотного зв'язку надходить на його емітер з дільника, що складається з конденсаторів *C2* і *C3*. Частоту задаючого генератора визначають конденсатори *C2*, *C3*, котушка *L1* і міжелектродні ємності транзистора *VT1*. З колектора транзистора *VT1* сигнал через конденсатор *C1* надходить на антену. Котушка *L1* безкаркасна, діаметром 4 мм, містить витки дроту ПЕВ 0,3.

Налаштування передавального пристрою полягає в підборі опорних резисторів *R2* та *R3* для отримання максимального випромінювання. Контур передавача налаштовують розтягуванням або стисненням витків котушки *L1* на вільну ділянку УВЧ діапазону.

Висновки. Запропоновано схематехнічне рішення та принцип роботи передавача з робочою частотою 1,29 ГГц, що відповідає вимогам до радіочастотного ресурсу України та нормативних вимог з використання малопотужних засобів передавання.

Список використаних джерел

1. Закон України Про радіочастотний ресурс України. – Стаття 5. Категорії користувачів радіочастотного ресурсу України. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://kodeksy.com.ua/pro_radiochastotnij_resurs_ukraini/statja-5.htm
2. Аматорські радіодіапазони України. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ecta.com.ua/images/pages/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D0%B1%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D0%BF%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%BD%D1%8B1.Pdf>
3. Андрианов В.И., Бородин В.А., Соколов А.В. «Шпионские штучки и устройства для защиты объектов и информации», 1996 г., стр.76
4. 2SC2570 – опис виробника. Основні параметри. Даташити. Довідник транзисторів. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://alltransistors.com/ru/transistor.php?transistor=13386>

УДК 681.2.089

Гульняєв С. О.

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

АВТОМАТИЧНА ПОВОРОТНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АКСЕЛЕРОМЕТРІВ

Акселерометр – пристрій для вимірювання прискорення. Часто акселерометри використовують для визначення кута нахилу деякого об'єкту відносно поверхні Землі, для чого потрібно знати його вихідну величину у діапазоні прискорень від $-1g$ до $+1g$.

Для отримання характеристики акселерометра у наведеному вище діапазоні навантажень запропоновано установку, зображену на рис. 1.

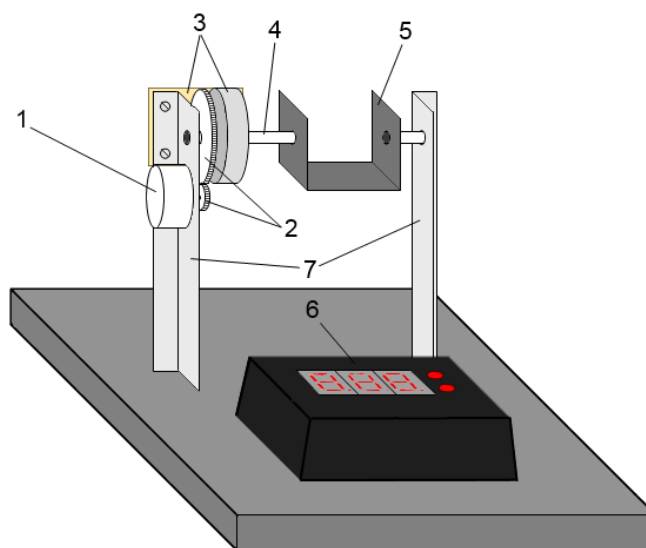


Рис. 1. Поворотна установка для дослідження характеристик акселерометрів. Загальний вигляд: (1- кроковий двигун (КД), 2- редуктор, 3- датчик повороту (ДП), 4 – вал платформи, 5 – зажим для закріплення акселерометра, 6 – блок керування (БК), 7 – опори)

Установка являє собою дві закріплені опори, між якими знаходиться вал із закріпленим на ньому акселерометром. Вал обертається за допомогою крокового двигуна. Кут повороту визначається за допомогою датчика повороту, який виконує роль зворотнього зв'язку.

Датчик повороту складається із оптичного датчика лінійних переміщень OM02 для оптичної миші і колеса, закріпленого на валу. Знімаючи лінійне переміщення поверхні колеса (рис. 1 елемент 3) відносно закріпленого оптичного датчика визначаємо на який кут було повернуто вал.

Т.я. датчик OM02 на виході має послідовність імпульсів як у квадратурного енкодера датчик може бути замінений на енкодер або звичайну оптопару з мінімальними змінами у конструкції.

До переваг такої установки можна віднести бесконтактне вимірювання заданого кута повороту акселерометра та відносну простоту реалізації. До недоліків – вибагливість датчика повороту до текстури поверхні колеса.

Структурну схему установки наведено на рис. 2.

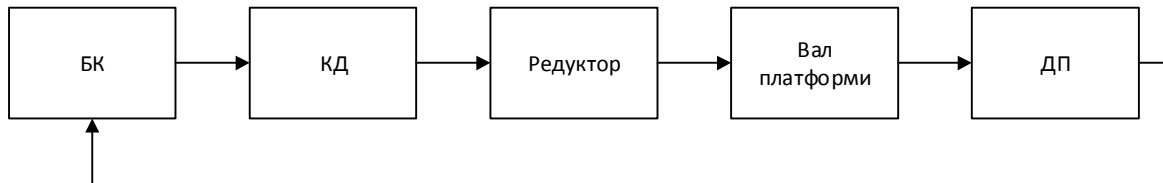


Рис. 2. Поворотна установка для дослідження характеристик акселерометрів. Структурна схема: (БК – блок керування, КД – кроковий двигун, ДП – датчик повороту)

Алгоритм вимірювання статичної характеристики досліджуваного акселерометра наведено на рис. 3.

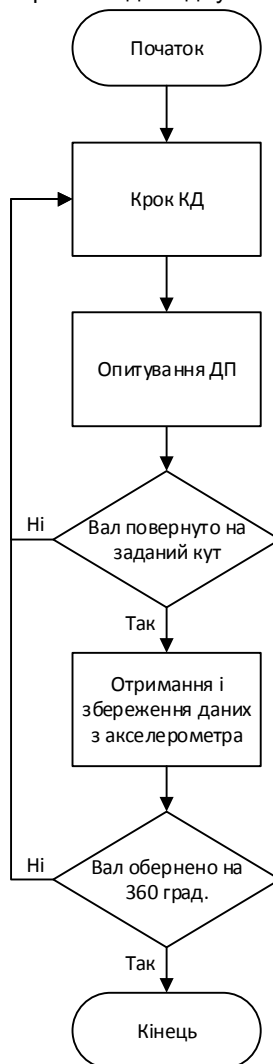


Рис. 3. Поворотна установка для дослідження характеристик акселерометрів. Алгоритм роботи

Список використаних джерел

1. Мокров Е.А. Особенности динамической градуировки в компенсационных акселерометрах на двойных центрифугах [Текст] Е. А. Мокров, А. А. Папко // ПСУ. 1990. № 10. С. 29-30
2. Обухов В.И. Технология интегральных измерительных преобразователей [Текст] // Обухов В.И. Н. Новгород: НГТУ, 1994. -150 с.

УДК 004.5

Дидан А. А.

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ

Системы контроля и управления доступом (СКУД) – это оптимальное решение для обеспечения безопасности помещения [1]. Данное решение актуально для административных зданий, офисов, гостиниц и жилых домов. Системы контроля доступом могут быть классифицированы по способу построения:

– Автономные СКУД – это системы ограничения доступа, построенные на базе автономного контроллера и устройства идентификации, что обеспечивают управление механическим замком. Данные системы работают без привязки к компьютеру или другому управляющему устройству;

– Сетевые СКУД – это системы ограничения доступа, построенные на базе сетевого контроллера, обеспечивающего контроль доступа в несколько точек прохода с общим для них программным обеспечением. Данный контроллер может использовать для управления интерфейсы RS-485, Ethernet, Wi-Fi, GPRS;

– Контроль доступа на базе терминалов – это системы, построенные на базе микрокомпьютера, объединяющего функции контроллера и считывателя. Терминал доступа может использоваться для построения автономных и сетевых СКУД;

– Интеллектуальные СКУД – это системы ограничения доступа с возможностью интеграции в системы более высокого уровня (охранные, измерительные, системы видеонаблюдения, пожаробезопасности, «умный дом» и т.д.);

Идентификация личности может осуществляться следующими методами:

- Бесконтактные RFID карты, брелоки, браслеты;
- Биометрические параметры: отпечаток пальца, радужная оболочка глаза;
- Кодовые клавиатуры.

Предлагается СКУД, структурная схема которой представлена на рис. 1.



Рис. 1

Контроллер доступа выполняет программное управление аппаратной составляющей системы и реализован на микроконтроллере архитектуры AVR.

Устройство идентификации – это модуль, реализующий один из методов определения личности, описанных выше. Для данной системы был выбран RFID-считыватель RC522. Технология радиочастотной идентификации широко используется в разных областях науки и техники. Так с их помощью производится учет товаров в магазинах и на складах, книг в библиотеке, проводятся транспортные платежи, обеспечивается контроль пациентов и препаратов в медицинских учреждениях; в животноводстве RFID-метки упрощают учет, страхование, перевозку животных, предоставляют полную информацию о состоянии их здоровья; в логистике позволяют отслеживать перемещение груза. Преимуществом данного метода является его практическая универсальность и безопасность передачи данных.

Исполнительный механизм – это механическое устройство контроля доступа. В простейшем случае представляет собой замок, управление которым осуществляется с помощью сервопривода.

ВСКУД пользователю может быть предоставлена возможность управления с помощью некоторого внешнего управляющего устройства – планшетного компьютера, персонального компьютера или смартфона, имеющим общий с контроллером доступа Интернет-ресурс – облачный сервис или web-интерфейс управления. Доступ к сети Интернет осуществляется при помощи модуля Wi-Fi ESP8266, а в качестве внешнего управляющего устройства может быть смартфон владельца ВСКУД.

Внешние датчики обеспечивают дополнительные функции ВСКУД, такие как: контроль присутствия человека в помещении, индикацию состояния системы, учет количества посещений и т.д.

Представленная на рис. 1 структурная схема ВСКУД может быть использована для построения замка для системы «умный дом».

Список использованных источников

1. Волхонский В.В. Системы контроля и управления доступом – Санкт-Петербург: СПб: Университет ИТМО, 2015. – 105 с. – экз.
2. Ворона В. А., Тихонов В. А. Системы контроля и управления доступом – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 272 с.
3. Руководство по составлению спецификаций на ВСКУД (перевод) – Британская Ассоциация индустрии безопасности, 2014. – 170 с.

УДК 004.312

Бодян Н. И.

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев

ДОМАШНЯЯ МЕТЕОСТАНЦИЯ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Метеостанции позволяют получать точную и подробную информацию о текущем состоянии и прогнозе погоды непосредственно в месте их расположения [1]. Метеорологический прогноз является усредненным для довольно обширной территории, так как погода может быть переменчивой в пределах одного крупного города.

Бытовые метеостанции позволяют получать точные показания о температуре и влажности в помещении и на улице, измерять атмосферное давление, анализировать динамику изменения атмосферного давления, температуры и влажности.

Основные функции домашней метеостанции:

1. Измерение температуры. Метеостанция измеряет температуру с точностью до десятых градуса внутри помещения и снаружи. Диапазон измерения температуры для комнатного датчика от -5°C до $+50^{\circ}\text{C}$, для наружного уличного датчика от -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$;
2. Измерение влажности. Влажность измеряется как внутри помещения, так и снаружи в диапазоне от 2% до 98% и выводится на дисплее метеостанции в виде числовых данных;
3. Измерение атмосферного давления. Производится с точностью до 1 мбара с отображением в виде диаграммы за сутки.

Предлагается следующая структурная схема метеостанции (рис. 1).

Для управления всеми структурными составляющими метеостанции и обработки результатов измерений используется микроконтроллер семейства AVR [2].

В качестве датчика температуры и датчика влажности используется комбинированный цифровой датчик DHT-22. Он состоит полимерного ёмкостного датчика влажности и датчика DS18B20, предназначенного для измерения температуры окружающего воздуха.

Технические характеристики DHT-22 следующие:

- измерение температуры в диапазоне от -40°C до 125°C с погрешностью $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$;
- измерение влажности в диапазоне от 0% до 100% с погрешностью $\pm 2-5\%$;

- дискретність измерения температуры – $0,1^{\circ}\text{C}$;
- дискретность измерения влажности – $0,1\%$;
- напряжение питания от 3 В до 5,5 В;
- максимальный потребляемый ток – 3 мА;
- потребляемый ток в режиме ожидания – 150 нА.

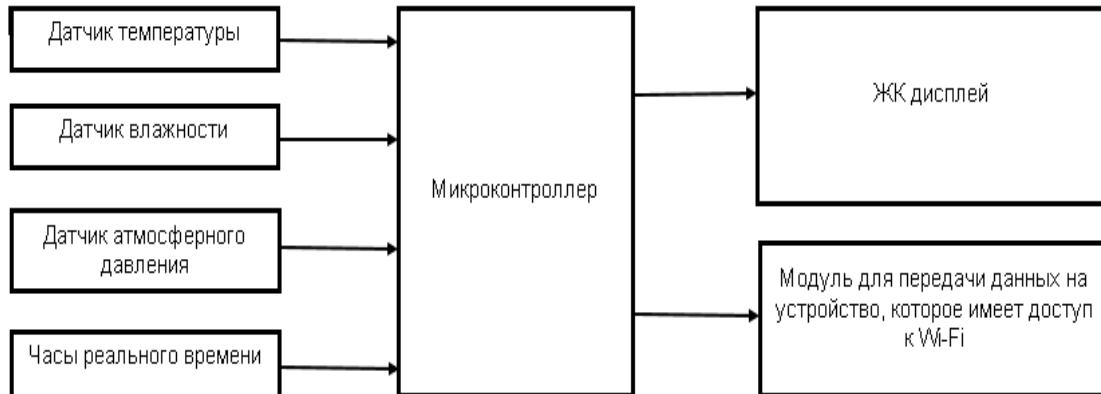


Рис. 1

В качестве датчика атмосферного давления используется микросхема BMP180. BMP180 представляет собой датчик для измерения атмосферного давления и температуры окружающего воздуха. Поскольку между давлением и температурой существует взаимосвязь, то последняя учитывается при расчете давления. Пределы измеряемого давления составляют 300...1100 мбар, или 225...825 мм рт. ст.

Технические характеристики BMP180 следующие:

- диапазон измеряемых значений: от 300 гПа до 1100 гПа (от -500 м до +9000 м над уровнем моря);
- напряжение питания от 3,3 В до 5 В;
- потребляемый – 5 мкА при скорости опроса 1 Гц;
- уровень шума – 0,06 гПа (0,5 м) в грубом режиме (ultra low power mode) и 0,02 гПа (0,17 м) в режиме максимального разрешения (advanced resolution mode).

Часы реального времени предназначены для учёта хронометрических данных (текущее время, дата, день недели).

ЖК дисплей обеспечивает отображение результатов измерений.

Модуль для передачи данных на устройство, которое имеет доступ к Wi-Fi, построен на базе микросхемы ESP8266.

Вывод. Как правило, прогноз погоды, исходя из глобальных данных, усредняется на определенную область. Точность измерений у домашних погодных станций достаточно велика. Это обусловлено тем, что домашняя метеостанция использует атмосферные показатели, измеренные локально, в местности, где эта метеостанция находится.

Домашние метеостанции не ограничены измерением лишь температуры и влажности. Они могут определять силу и направление ветра, количество выпавших осадков. Кроме измерения атмосферных показателей метеостанции могут отображать фазу Луны, восход и закат Солнца.

Список использованных источников

1. Хромов С. П. Метеорология и климатология [Текст] / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – М.: Изд-во Моск. ун-та: Наука, 2006. – 582 с.
2. Прокопенко В. С. Программирование микроконтроллеров ATMEЛ на языке С [Текст] / В. С. Прокопенко. – К.: «МК-Пресс», СПб.: «КОРОНА – ВЕК», 2012. – 320 с.

УДК 681.5

Козлов О. В., к.т.н., Шмигельська І. В.

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

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

Теорія штучних нейронних мереж (ШНМ) досить активно розвивається як напрям науки. Актуальність досліджень в цьому напрямі підтверджується великою кількістю різних застосувань нейронних мереж у вирішенні складних практичних задач. В роботі [1] було показано, що мережі, що складаються з штучних нейронів, здатні обчислити будь-яку арифметичну або логічну функцію. Основні напрямки використання ШНМ: кла-

сифікація образів, апроксимація функцій, кластеризація, прогнозування, асоціативна пам'ять, оптимізація, управління [2].

Нейронні мережі знайшли успішне застосування в проектуванні систем управління динамічними об'єктами [3]. Нейромережеві системи управління (СУ) мають ряд переваг перед звичайними СУ, серед яких слід виділити можливості обробки великих об'ємів сенсорної інформації [4], високу швидкість, що досягається за рахунок розпаралелювання обчислень [5], можливість роботи з суттєво нелінійними об'єктами, про структуру і параметри яких практично нічого невідомо [6]. Такі об'єкти управління характерні для авіації (управління динамікою польоту, силовою установкою, маневруванням літального апарату, ідентифікація аеродинамічних параметрів, контроль і діагностика, бортові навігаційні експертні системи), космонавтики (адаптивне управління переорієнтацією і кутовою стабілізацією космічного апарату в умовах невизначеності, діагностика бортового обладнання, мінімізація втрат бортової системи електропостачання), робототехніки (розпізнавання образів), морських суден (системи управління навігацією), промисловості та ін. [7].

Спектр задач, які вирішують ШНМ є досить широким, що не дозволяє сьогодні створювати універсальні, потужні мережі. Тому необхідно розробляти спеціалізовані НМ, що функціонують за різними алгоритмами. На даний момент існує велика кількість типів НМ, що призначені для вирішення різних задач. Ці НМ відрізняються структурою зв'язків, правилами визначення вагів чи правилами навчання, програмування.

Аналіз літератури показав, що для задач управління найчастіше використовують багатoshарові нейронні мережі. Такі мережі представляють собою структури з прямими зв'язками, в яких інформація передається в прямому напрямку, від входів до виходів, через приховані шари. Багатoshарові нейронні мережі забезпечують найрізноманітніші нелінійні залежності з будь-якою заданою точністю, використовуючи сигмоїдальну функцію активації; для цього необхідна лиш достатня кількість нейронів у прихованому шарі. Навчання нейронних мереж є важливою проблемою, оскільки якісна реалізація алгоритму навчання дозволяє зменшити похибку та покращити отримані результати. Основний алгоритм навчання багатoshарових нейронних мереж – алгоритм зворотного розповсюдження, що відноситься до широкого класу градієнтних методів найшвидшого спуску.

Нейроуправління динамічними об'єктами є комбінацією методів автоматичного управління і методів штучного інтелекту. Існує два найпоширеніші підходи до застосування ШНМ в управлінні: *прямі методи* (безпосереднє управління об'єктом за допомогою нейрорегулятора) та *непрямі методи* (використання ШНМ для фільтрації шуму чи ідентифікації динамічних об'єктів) [8].

В схемі прямого інверсного управління ШНМ розглядається як інверсна модель динаміки системи (рис. 1). Навчання ШНМ відбувається в режимі *offline*. В ході навчання ШНМ повинна апроксимувати залежність значень керуючого сигналу $u(k)$ від попереднього стану $x(k-1)$. Після навчання ШНМ використовується для безпосереднього управління об'єктом.

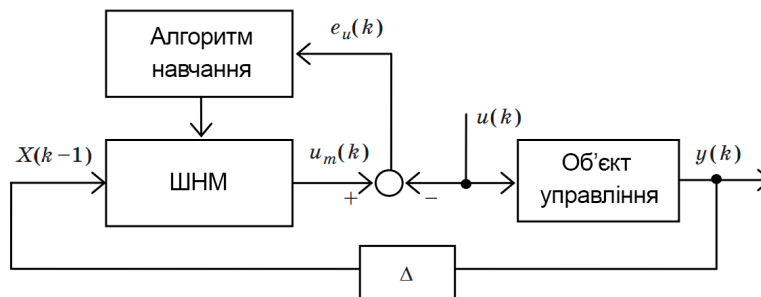


Рис. 1. Схема прямого інверсного управління

В схемі непрямого інверсного управління (рис. 2) використовуються дві копії ШНМ як інверсної моделі. Вхідний сигнал надходить на вхід першої ШНМ, яка виробляє сигнал управління. Друга ШНМ використовується аналогічно схемі прямого інверсного управління [7].

Також часто використовують метод спеціалізованого інверсного управління. Досить високу ефективність мають і гібридні схеми нейроуправління, які застосовуються сумісно з традиційними контролерами [8].

Нейромережеві технології управління дозволяють подолати багато труднощів, що виникають при роботі з нелінійними об'єктами або з об'єктами невідомої структури, що не вирішуються за допомогою традиційних методів адаптивного управління. Здатність штучних нейронних мереж до навчання дозволяє використовувати нейрорегулятори в умовах суттєвих невизначеностей, забезпечуючи високу швидкість і надійність.

Разом з тим, залишається ряд невирішених проблем, що заважають широкому застосуванню систем нейроуправління в індустрії:

1. Все ще відсутня універсальна процедура аналізу стійкості нелінійних нейроконтролерів. Були запропоновані лише частинні рішення для окремих видів нейроконтролерів при відомій математичній моделі об'єкта управління.

2. Конструкція майже всіх схем нейроуправління виглядає занадто ускладненою через наявність кількох нейромереж і нетривіальною послідовністю процедур їх навчання.

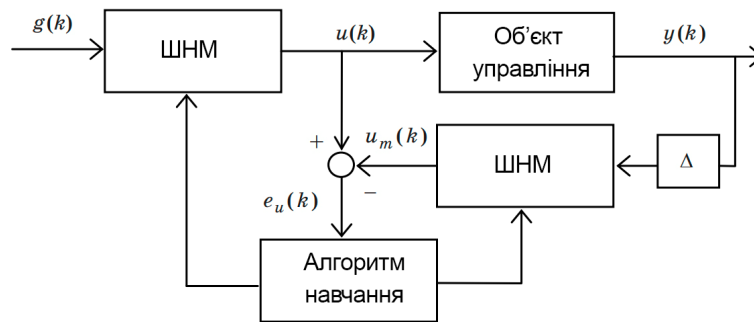


Рис. 2. Схема непрямого інверсного управління

3. Для подальшого розвитку методів нейруправління, актуальною проблемою залишається створення нових моделей динамічних нейронних мереж і способів їх навчання [9].

Список літератури

1. Мак-Каллок У., Питтс У. Логические исчисления идей, относящихся к нервной активности. М.: ИЛ, 1956.
2. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.: ил.
3. Hagan M. T., Demuth H. B. Neural Networks for Control // Proceeding of the 1999 American Control Conference. San Diego: CA, 1999. P. 1642-1656.
4. Pharm D. T., Liu X. Neural Networks for Identification, Prediction and Control. – London: Springer-Verlag, 1995. – 238 p.
5. Handbook of Intelligent Control: Neural, Fuzzy and Adaptive Approaches / Ed. by D. A. White, D. A. Sofge. – N.Y.: Van Nostrand Reinhold, 1992. – 568 p.
6. Narendra K. S., Parthasarathy K. Identification and control of dynamical systems using neural networks // IEEE Trans. On Neural Networks. – 1990. – 1. – P. 4-26.
7. Бураков, М. В. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учеб. пособие/ М. В. Бураков. – СПб.: ГУАП, 2013. – 284 с.: ил.
8. Комашинский В. И., Смирнов Д. А. Нейронные сети в системах управления и связи. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 94 с.
9. Чернодуб А. Н., Дзюба Д. А. Обзор методов нейруправления // Проблемы программирования. – 2011. №2. – С. 79-94.

Тарабцев М. В.

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова

ОРИЕНТАЦИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ

Введение. При использовании мобильных роботов одной из важнейших задач является ориентация в пространстве. Под ориентацией следует понимать определение положения робота относительно окружающих предметов. Существует достаточно много способов решения этой задачи, но все они имеют как достоинства, так и недостатки.

В данном докладе представлен обзор нескольких систем управления роботами, отличающихся своими характеристиками, и сделана попытка обоснования критериев выбора аппаратуры и методов определения положения мобильного робота в пространстве.

Анализ. Первый из рассматриваемых проектов [1] – робот-«грузчик», перемещающийся по складу. Основой робота является платформа Eddie фирмы Parallax, использующая спецификацию «MRDS Reference Platform» от Microsoft.

На первом этапе робот использовал имеющиеся на платформе дальномеры – инфракрасные и ультразвуковые. Однако ориентация по ближайшему объекту – складской полке – приводила к накоплению ошибки и перемещению робота по ломаной линии, а изредка – к потере объекта.

Далее был применён метод определения текущего положения, основанный на показаниях энкодеров колёс и пересчёте требуемого угла коррекции курса. Робот стал двигаться по дуге с коррекцией угла во время движения. Однако накапливающуюся ошибку направления корректировать было нечем. Тогда была использована видеокамера, что позволило корректировать направление относительно прямоугольных окон, расположенных на потолке.

Второй проект [2] создан для разработки недорогих, но эффективных алгоритмов безопасного управления автономными и полуавтономными сервисными мобильными роботами. Для этой цели создается мобильный робот РБ-2, который предназначен для работы внутри помещений в среде обитания человека. Робот РБ-2 представляет собой подвижную платформу длиной 60 см, шириной 53 см, с двумя передними ведущими колесами, на осях которых установлены одометры, и двумя задними поддерживающими оми-колесами. Робот оборудован контактными датчиками препятствий, инфракрасными и ультразвуковыми датчиками расстояний. На передней части корпуса робота установлен лазерный сканер, который является основным источником данных для системы управления робота.

Программное обеспечение системы управления функционирует на бортовом компьютере с процессором Intel, тактовой частотой 1,8 ГГц, работающим под управлением операционной системы Windows 7 Embedded. Борт компьютер имеет оперативную память 4 Гб, внешнюю флеш-память 16 Гб, сенсорный монитор с диагональю 7 дюймов. Связь бортового компьютера с контроллерами нижнего уровня осуществляется по каналам USB. Программное обеспечение робота РБ-2 написано на языке VisualBasic.Net. Весь массив постоянной информации, необходимой для управления роботом, хранится в базе данных на платформе Access 2007.

Решение задачи определения начального положения робота РБ-2 базируется на методе позиционной привязки по локальным ориентирам. Данные, поступающие от лазерного сканера, обрабатываются и преобразуются в специфицированную модель видимой части окружения робота. Такая модель далее будет называться Рабочей Моделью. Из этой Рабочей Модели выделяются ориентиры, которыми являются образы угловых точек предметов, окружающих робота. Эти ориентиры далее будут называться Базовыми Точками. Отрезки прямых линий, соединяющих Базовые Точки, являются Отличительными Признаками видимой части окружения робота. Для всей совокупности Отличительных признаков формируется таблица параметров этих признаков, которая содержит набор величин, определяющих геометрические особенности ориентиров. В такой таблице концентрированно содержатся отличительные параметры текущего состояния видимого окружения робота.

В базе данных робота РБ-2 содержится математическое описание всей операционной среды робота, которое далее будет называться Картой среды. В структуре информации, составляющей Карту среды, также содержатся аналогичные Таблицы параметров Отличительных признаков, сформированные в процессе построения Карты. Задача определения положения робота решается сопоставлением Таблиц параметров, Отличительных признаков, Рабочей Модели и Карты. Ищется соответствие между параметрами Отличительных признаков, определяющее сходство или отличие каждой пары угловых признаков. На карте находится участок, который по совокупности Отличительных признаков наиболее похож на Рабочую Модель. По взаимному положению найденных пар похожих признаков в текущей Рабочей Модели и в Карте оценивается ориентация робота и его позиция.

Третий проект [3] описывает создание системы навигации мобильного робота, основанную на инфракрасных датчиках, являющихся маяками-ориентирами.

Конструктивно система решена так, что приемник ИК-сигнала располагается на роботе, на оси шагового двигателя, который вращает приемник вокруг своей оси. Вращающийся приемник позволяет роботу определить углы α_1 , α_2 , α_3 на маяки относительно своей оси. Учитывая, что координаты маяков известны роботу заранее, полученная информация позволяет рассчитать координаты робота и вычислить угол α_p – угол между направлением робота и системой координат.

Цель работы. Целью работы является анализ существующих решений по ориентации мобильных роботов в пространстве и создание своего прототипа, решающего подобные задачи при использовании более доступных ресурсов.

Вывод. Очевидно, что из рассмотренных в данном обзоре систем ориентации мобильных роботов наиболее широкими возможностями обладает проект 2, однако он требует достаточно сложной системы управления, применения высокоточных лазерных дальнометров, а главное – достаточно сложных алгоритмов формирования карты окружающего пространства.

Проект 1 – достаточно удачное решение узкоспециальной задачи управления складским «роботом-грузчиком», однако для других задач данный метод практически неприменим.

Проект 3 также может быть применён только в том случае, когда установлены и настроены маяки, а также требуется точное определение координат этих маяков независимыми от робота приборами.

В случае необходимости разработки достаточно простого мобильного робота на доступной платформе, способного работать в незнакомой обстановке, данные методы неприменимы, либо ограниченно применимы и требуют существенной доработки.

В дальнейшем предполагается построить систему ориентирования робота в пространстве, максимально свободную от недостатков рассмотренных систем.

Список использованных источников

1. <https://habrahabr.ru/post/161803/>Проект «робот-грузчик»: определение собственного местоположения

2. О. И. Давыдов, А. К. Платонов Метод определения позиции и ориентации мобильного робота с лазерным сканером. Институт прикладной математики имени М. В. Келдыша. – М. – 2015.
3. В. Э. Карпов, М. В. Платонова. Система навигации мобильного робота. МЭИ.

УДК 681.5

Козлов О. В., к.т.н., Скакодуб О. С.

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

СИНТЕЗ КЕРУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПЛАСТИНЧАТИМИ ТРАНСПОРТЕРАМИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПІРОЛІЗНИХ КОМПЛЕКСІВ НА ОСНОВІ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ

Проблему термічної утилізації цілих зношених автомобільних шин (АШ) і різномісних гумотехнічних виробів, що вийшли з експлуатації, доцільно вирішувати із застосуванням екологічно безпечної та енергозберігаючої технології високотемпературного піролізу [1]. Для реалізації даної технології застосовуються спеціалізовані піролізні комплекси (СПК), які в результаті переробки АШ дозволяють отримувати на виході альтернативне паливо газоподібних і рідких фракцій. Автоматизація СПК даного типу дозволяє суттєво підвищити точність керування робочими параметрами технологічного процесу безперервної термічної утилізації цілих зношених АШ та покращити якість отриманого на виході альтернативного палива.

Однією з найбільш важливих задач автоматичного керування СПК для утилізації зношених АШ є стабілізація лінійної швидкості та переміщення пластинчатих транспортерів (ПТ) вузлів завантаження їх піролізних реакторів [1]. Можливість періодичного довантаження АШ та підтримання постійного значення їх кількості в піролізних реакторах дозволяє забезпечити роботу даних комплексів в безперервному режимі, що в свою чергу, дає змогу значно підвищити їх експлуатаційну, енергетичну та економічну ефективність. Для вирішення даної задачі автоматичного керування авторами розроблено спеціалізовану систему автоматичного керування (САК), що забезпечує керування переміщенням та швидкістю руху ПТ вузлів завантаження реакторів СПК.

Функціональна структура розробленої авторами САК пластинчатим транспортером вузла завантаження реактора СПК наведена на рис. 1, де прийнято наступні позначення: ЗП – задавальний пристрій; РП – регулятор переміщення; РШ – регулятор швидкості; ПЧ – перетворювач частоти; АД – асинхронний двигун; Р – редуктор; КП – кінематичний ланцюг; $s_{ПТ}$ – задане значення положення стрічки ПТ; $\varepsilon_{П}$ – сигнал помилки керування переміщенням стрічки ПТ; $u_{РП}$ – вихідний електричний сигнал регулятора переміщення; $\varepsilon_{Ш}$ – сигнал помилки керування швидкістю ПТ; $u_{РШ}$ – вихідний електричний сигнал регулятора швидкості; $u_{АД}$, $f_{АД}$ – змінна напруга та частота живлення АД, які формуються у ПЧ; $\omega_{АД}$ – кутова швидкість обертання вихідного валу АД; $\omega_{Р}$ – кутова швидкість обертання вихідного валу редуктора; $v_{ПТР}$ – реальне значення швидкості лінійного переміщення ПТ; $s_{ПТР}$ – реальне значення положення стрічки ПТ; $u_{ДШ}$ – вихідний електричний сигнал датчика швидкості лінійного руху ПТ; $u_{ДП}$ – вихідний електричний сигнал датчика положення стрічки ПТ; F_c – сила навантаження, що діє на кінематичний ланцюг ПТ.

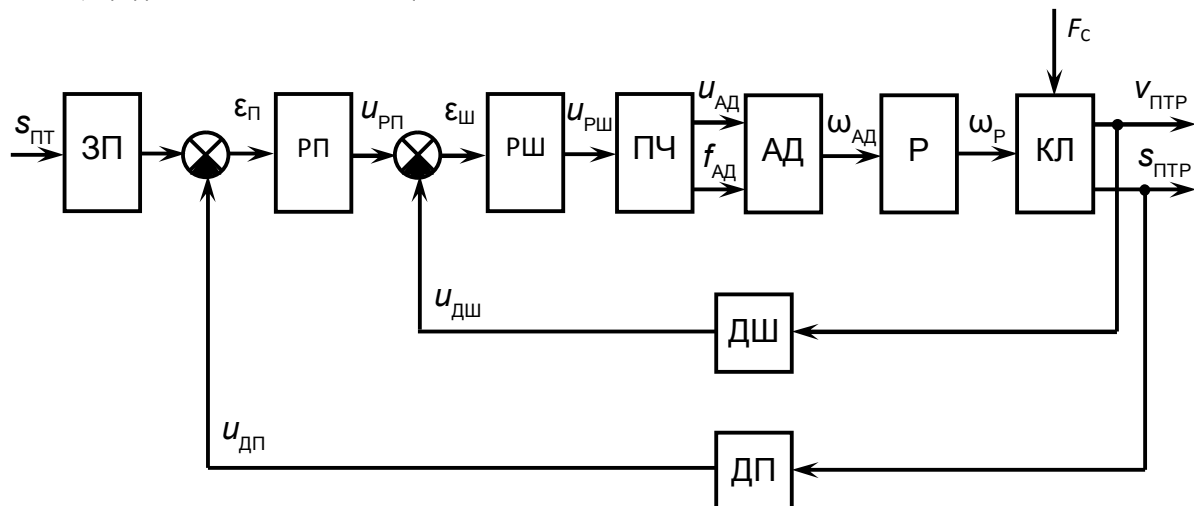


Рис. 1. Функціональна структура САК ПТ вузла завантаження піролізного реактора

Забезпечення достатньо високих показників якості керування лінійною швидкістю та переміщенням ПТ може бути досягнуто за рахунок синтезу керуючих пристроїв переміщення та швидкості на основі ефективних методів та алгоритмів. В даній роботі задача синтезу ефективних керуючих пристроїв САК ПТ вирішується за допомогою генетичних алгоритмів, які останнім часом широко застосовуються для синтезу регуляторів в системах керування складними технічними об'єктами [2].

В якості фітнес-функції для синтезу керуючих пристроїв САК ПТ на основі генетичних алгоритмів в даному випадку доцільно обрати квадратичне інтегральне відхилення реального значення переміщення $s_{ПТР}$ від заданого $s_{ПТ}$

$$m_{\min} f_{\Pi}(t, \mathbf{P}) = m_{\min} \left[\int_0^T e(t, \mathbf{P})^2 dt \right] = m_{\min} \left[\int_0^T (s_{\Pi}(t, \mathbf{P}) - s_{ПТР}(t, \mathbf{P}))^2 dt \right], \quad (1)$$

де вектор $\mathbf{P}$ є масивом параметрів ПІД-регулятора швидкості та ПД-регулятора переміщення, що оптимізуються. В свою чергу,

$$\mathbf{P} = \{K_{ПШ}; K_{Ш}; K_{ДШ}; K_{ПП}; K_{ДП}\}, \quad (2)$$

де $K_{ПШ}$, $K_{Ш}$, $K_{ДШ}$ – пропорційний, інтегральний та диференціальний коефіцієнти ПІД-регулятора швидкості; $K_{ПП}$, $K_{ДП}$ – пропорційний та диференціальний коефіцієнти ПД-регулятора положення.

Слід зазначити, що в якості особин генетичного алгоритму використані вектори $\mathbf{P}$. Початкові значення векторів $\mathbf{P}$ сгенеровані випадковим чином.

Для вирішення задачі синтезу параметрів регуляторів в даній роботі застосований класичний генетичний алгоритм. В якості відбору батьків застосовується рулеточна схема, а в якості оператора переходу осіб в наступне покоління елітарний спосіб.

В результаті попередніх дослідів в якості параметрів генетичного алгоритму обрані наступні значення:

- кількість осіб в поколінні $N = 100$;
- ймовірність схрещування $p_c = 0,96$;
- вірогідність мутації $p_m = 0,1$.

Робота алгоритму виконується наступним чином.

1. Генеруються N випадкових значень векторів $\mathbf{P}$.
2. Для кожного вектору $\mathbf{P}$ розраховується значення фітнес-функції у вигляді квадратичного інтегрального відхилення реального значення переміщення $s_{ПТР}$ від заданого $s_{ПТ}$.
3. Проводиться відбір найкращих особин елітарним способом.
4. Проводиться перевірка умови завершення програми. Якщо квадратичне відхилення не перевищує допустимо граничних значень, то програма завершується, обираючи найкращий результат. В протилежному випадку здійснюється перехід до пункту 5.
5. Проводиться відбір батьків рулеточною схемою.
6. Проводиться селекція випадково обраних особин з сектору рулетки, та перехід в нове покоління. Після цього здійснюється перехід до пункту 2.

Для виконання синтезу та оптимізації ПІД-регулятора швидкості та ПД-регулятора положення на основі генетичного алгоритму застосовано спеціалізоване програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати параметричну оптимізацію керуючих пристроїв в системах керування лінійними та нелінійними об'єктами на основі еволюційних методів.

Крім того, для дослідження ефективності застосованого генетичного алгоритму та порівняння його з іншими існуючими методами здійснено синтез параметрів вищенаведених керуючих пристроїв на основі класичних градієнтних методів параметричної оптимізації.

Результати математичного та комп'ютерного моделювання перехідних процесів САК ПТ вузла завантаження СПК з керуючими пристроями, синтезованими із застосуванням генетичних алгоритмів та класичних градієнтних методів параметричної оптимізації, докладно розглядаються в доповіді.

Список використаних джерел

1. Козлов, О. В. Автоматизація процесів керування технологічними комплексами утилізації цілих зношених автошин / О. В. Козлов, Л. М. Маркіна, М. В. Рудюк // Наукові праці: Науково-методичний журнал, Серія "Комп'ютерні технології". – Миколаїв: ЧДУ ім. П.Могили, 2015. – Том 266, Випуск 254. – С. 131-137.
2. Субботін С. О., Олійник А. О., Олійник О. О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: Монографія / Під заг. ред. С. О. Субботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – 375 с.

УДК 519.713

Тарабцев М. В.

Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев

СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Введение. На данный момент робототехника одна из самых перспективных отраслей науки. Мобильные роботы активно внедряют на производстве, в различных исследовательских и даже военных целях. На складах используются роботы-погрузчики, на Марсе – марсоходы.

Всех мобильных роботов объединяет потребность в беспроводной передаче данных, будь то дистанционное управление или составление общей базы знаний на сервере.

В данном докладе рассмотрены наиболее перспективные технологии беспроводной передачи данных, применимые к мобильным роботам.

Цель работы. Цель работы состоит в анализе существующих решений по беспроводной передаче данных и подборе технологий для реализации на модели мобильного робота в масштабе и для полноразмерного прототипа.

Анализ. Для управления мобильными роботами наиболее часто используются три технологии беспроводной передачи данных: ZigBee, Bluetooth и Wi-Fi.

Технология Bluetooth поддерживает как соединения типа «точка–точка», так и «точка–много точек». Два или более использующих один и тот же канал устройства образуют пикосеть (piconet). Одно из устройств работает как основное (master), а остальные – как подчиненные (slave). В одной пикосети может быть до семи активных подчиненных устройств, при этом остальные подчиненные устройства находятся в состоянии «парковки», оставаясь синхронизированными с основным устройством. Взаимодействующие пикосети образуют «распределенную сеть» (scatternet). [1]

Bluetooth 4.0 включает в себя протоколы:

- классический Bluetooth;
- высокоскоростной Bluetooth;
- Bluetooth с низким энергопотреблением.

Высокоскоростной Bluetooth основан на Wi-Fi, а Классический Bluetooth состоит из протоколов предыдущих спецификаций Bluetooth.

Частоты работы системы Bluetooth (мощность не более 0,0025 Вт).

Полоса частот: 2 402 000 000 – 2 480 000 000 Гц (2,402 ГГц – 2,48 ГГц).

16 июня 2016 года Bluetooth Special Interest Group (SIG) представила спецификацию Bluetooth 5.0.[18][19] Изменения коснулись в основном режима с низким потреблением и высокоскоростного режима. Радиус действия увеличен в 4 раза, до 200 метров, скорость увеличена в 2 раза, до 6.25 МБ/с. [2]

Wi-Fi – это технология беспроводной локальной сети с устройствами на основе стандартов IEEE 802.11. Любое оборудование, соответствующее стандарту IEEE 802.11, может быть протестировано в Wi-Fi Alliance и получить соответствующий сертификат и право нанесения логотипа Wi-Fi.

27 июля 2011 года Институт инженеров электротехники и электроники (IEEE) выпустил официальную версию стандарта IEEE 802.22[6]. Системы и устройства, поддерживающие этот стандарт, позволяют принимать данные на скорости до 22 Мбит/с в радиусе 100 км от ближайшего передатчика. Недостатки Wi-Fi — В диапазоне 2,4 GHz работает множество устройств, таких, как устройства, поддерживающие Bluetooth, и др., и даже микроволновые печи, что ухудшает электромагнитную совместимость. [3].

Появление технологии ZigBee обусловлено, прежде всего, тем, что для некоторых приложений (например, для удаленного управления освещением или гаражными воротами, либо считывания информации с датчиков) основными критериями при выборе технологии беспроводной передачи является малое энергопотребление аппаратной части и ее низкая стоимость. Из этого следует малая пропускная способность, так как в большинстве случаев электропитание датчиков осуществляется от встроенной батареи, время работы от которой должно превышать несколько месяцев и даже лет.

Стандарт IEEE 802.15.4 определяет взаимодействие только двух низших уровней модели взаимодействия: физического уровня (PHY) и уровня управления доступом к радиоканалу для трех нелицензируемых диапазонов частот: 2,4 ГГц, 868 МГц и 915 МГц.

Подключение и отключение оконечного устройства к сети ZigBee только в необходимые для этого моменты позволяет существенно увеличить время пребывания оконечного устройства в режиме «засыпания», обеспечивая тем самым минимальное энергопотребление. Метод использования специального сигнала (маяка) является гораздо более энергоэффективным.

Высокая стоимость отладочного комплекта, в состав которого входит набор программных и аппаратных средств для построения беспроводных сетей ZigBee любой сложности, является одним из сдерживающих факторов массового распространения технологии ZigBee. [1]

Приведенный в статье [1] краткий обзор технологий беспроводной передачи данных Bluetooth, Wi-Fi и ZigBee показывает, что даже для имеющих опыт разработчиков бывает затруднительно однозначно отдать предпочтение той или иной технологии только на основании технической документации.

В статье [4] описывается создание системы управления коллективом роботов на основе оптических маркеров и двумерных кодов. Основное достоинство двумерных кодов – это лёгкое распознавание сканирующим оборудованием, в том числе даже web-камерой.

Предлагаемый способ организации канала обратной связи позволяет получать состояние всех элементов системы в любой момент времени за счёт одновременной передачи данных по оптическому каналу; принимать решения в режиме реального времени и своевременно реагировать на изменения ситуации. Однако данная система представляется избыточно сложной, а также требует предварительной расстановки оптических маркеров, что делает невозможным использование данной системы в неизвестной местности.

В статье [5] описана конструкция мобильного робота, оснащенного камерой и дальномером. Робот находит с помощью камеры заданный объект и следует за ним.

Первый вариант системы управления использует технологию ZigBee и прямое управление миникомпьютером, подключённым к сенсорам. При этом миникомпьютер не всегда справляется с вычислительной нагрузкой и робот иногда запаздывает с реакциями на события.

Во втором варианте используется Wi-Fi и веб-камера. Основой конструкции второго робота "танк-2" послужило пластиковое гусеничное шасси, которое приводится в движение двумя электромоторами. Робот построен по полной схеме с микроконтроллером (Arduino Pro Mini), реализующим реактивный уровень архитектуры. Как и предыдущая модель, он оснащён сенсором-дальномером и камерой, которая может изменять своё положение с помощью двух сервоприводов, основное управление осуществляется миникомпьютером Raspberry Pi B, с микроконтроллером уровня 2 он соединяется через интерфейс RS232 по каналу Wi-Fi.

Эксперименты показали, что необходимо улучшать качество работы системы обработки изображения, робот терял объект при существенном изменении освещения, а также нужно увеличить производительность миникомпьютера, Raspberry Pi B не всегда справлялся с вычислительной нагрузкой.

В [6] приведён пример использования инфракрасного канала передачи команд роботу, однако такое решение применимо только в случае нахождения оператора вблизи робота и при небольшом наборе команд.

В [7] подробно описано использование Arduino с различными датчиками.

Вывод. Для систем управления мобильными роботами возможно применение технологии Wi-Fi, однако основная обработка информации от сенсоров должна производиться встроенным контроллером робота при учёте корректирующей информации, передаваемой дистанционно от оператора либо управляющего компьютера.

Список использованных источников

1. Агафонов Н. Технологии беспроводной передачи данных ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi робот [электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.wireless-e.ru/articles/bluetooth/2006_1_10.php
2. Bluetooth 5.0 to Quadruple Range, Double Speed [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.pcmag.com/news/345316/bluetooth-5-0-to-quadruple-range-double-speed>
3. IEEE 802.22™-2011 Standard for Wireless Regional Area Networks in TV Whitespaces Completed [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.businesswire.com/news/home/20110726007223/en/IEEE-802.22TM-2011-Standard-Wireless-Regional-Area-Networks>
4. Алексеев А. Ю. Оптический канал беспроводной передачи данных коллектива мобильных роботов // Современные проблемы науки и образования. – №1, 2014.
5. Борисов Е. Автоматический мобильный робот [электронный ресурс] режим доступа: <http://mechanoid.kiev.ua/cv-bot.html>
6. Момот М. В. Мобильные роботы на базе Arduino. – БХВ-Петербург, 2017. – 288 с.
7. Петин В. А. Проекты с использованием Arduino. – БХВ-Петербург, 2015. – 464 с.

УДК 681.518

Грешнов А. Ю.

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

ТЕХНІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ КРИТЕРІЇ ВИБОРУ РІВНЕМІРІВ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ МОРСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

На територіях морських портів зосереджена велика кількість інформаційно-вимірювальних систем, що забезпечують вимірювання значного числа величин, а також, інтеграцію їх збору, зберігання, аналізу, статистичної обробки і передачі необхідних даних. Необхідною і обов'язковою умовою, в рамках розвитку інформаційних технологій, є інформатизація вимірювальних систем, які в силу своєї структурної особливості, активно

впроваджуються на території портів підприємств, чим значно спрощують стандартні механізми вимірювань і контролю, а також знижують вплив людського фактора в умовах постійних зовнішніх впливів [1].

Вимірювання величезного числа фізичних величин, таких як температура, рівень, вологість, вага і т.д., вимагає розробки вимірювальних систем, які б отримували інформацію автоматично, без безпосередньої участі людини, а також формували звіти щодо проведених вимірювань і зберігали дані аналізу [2].

Технічні і технологічні критерії вибору рівнемірів можна умовно розділити на наступні чинники:

1. Метрологічні характеристики (похибка, чутливість, поріг чутливості, діапазон вимірювань і т.д.);
2. Форма ємності (закриті, відкриті, неметалеві, наявність конструкцій всередині і т.д.);
3. Умови монтажу;
4. Властивості середовища (тиск, вологість, температура, діелектрична проникність);
5. Умови технологічного процесу (наявність парів, піноутворення, змінна щільність, турбулентність);
6. Вид середовища (рідина, порошок, сипучі середовища, гранульовані середовища).

Вибір методу вимірювання рівня середовищ, а отже і типу рівнеміра, є непростим завданням, оскільки необхідно розглянути всі існуючі технології, типи приладів і параметри, які впливають на процес вимірювання. Вдале вирішення цієї проблеми має забезпечити зменшення ризиків і вартості проекту за вибором вимірювального приладу.

Для вибору рівнеміра користувачеві необхідно порівняти обладнання різних виробників, виявити переваги та недоліки різних видів і прийняти рішення. Аналіз традиційних технологій вибору рівнемірів показує, що процес вибору моделі може бути тривалим через великий об'єм інформації і наявності людського фактора.

Методологія вибору. У зв'язку з великою різноманітністю рівнемірів вибір відповідного для конкретної вимірювальної задачі може бути ускладнений. Не дивлячись на те, що більшість методів вимірювання можна використовувати в різноманітних технологічних процесах, не існує універсального приладу, придатного для всіх випадків. Однак, задаючи конкретні питання і уточнюючи основні вимоги технологічних процесів, можна істотно звузити коло пошуку і визначити, який рівнемір буде найкраще працювати.

Приклади вимірювань. Вимірювання передбачає необхідність знань індикації рівня продукту і / або кількості продукту в ємності. Відповідь на це питання покаже, яка інформація повинна надходити від рівнеміра і який тип вимірювань необхідний (наприклад, вимірювання маси або дискретний контроль). Наприклад, якщо потрібно запобігти переливу або дізнатися, коли виникне необхідність поповнення ємності, то сигналізатора рівня буде цілком достатньо. Якщо ж необхідно підтримувати обсяг продукту в ємності в певних межах, буде потрібен рівнемір з безперервним вихідним сигналом. Якщо необхідно знати витрати продукту в тоннах, потрібні вимірювання маси. При необхідності управляти матеріальними запасами або організовувати комерційний облік, потрібна повноцінна система контролю параметрів в ємності.

Вимірювання відстані до межі розділу середовищ. Перед тим, як приступити до вибору приладу для вимірювання рівня межі розділу середовищ, необхідно взяти до уваги ряд факторів. Приклади типових вимірювальних завдань: нафта поверх води, нафта поверх кислоти, органічні розчинники з низькою діелектричною постійною поверх води або кислоти.

При виборі методу вимірювання необхідно врахувати наступне:

- Рідина з низькою діелектричною постійною повинна знаходитися зверху.
- Перепад значень діелектричних постійних рідин повинен становити не менше 10.
- Діелектрична постійна верхнього продукту повинна бути відомою (її можна визначити в умовах експлуатації).
- Для визначення межі розділу середовищ товщина верхнього шару рідини повинна бути від 10 см до 20 см, в залежності від моделі рівнеміра і типу зонда.
- Можливо одночасна зміна рівня і рівня межі розділу середовищ.
- На вимірювання рівня межі розділу може вплинути наявність емульсійного шару.

Результати вимірювань будуть залежати від рідин, що змішуються. У більшості випадків положення поверхні розділу визначається по верхній межі емульсійного шару. Тонкі емульсійні шари (товщиною до 50 мм) не впливають на вимірювання.

Умови всередині ємності. Чи необхідно рівнеміру працювати в умовах високого тиску і температури? Рівнеміри деяких типів можуть достатньо надійно працювати при високому тиску і високій температурі, в той час як можливості інших обмежені. На вибір типу рівнеміра впливають допустимі межі його робочих тисків. У деяких рівнемірів стійкість до впливу параметрів процесу досягається за рахунок погіршення характеристик.

Багато рівнемірів можуть мати підвищену похибку вимірювання при коливаннях температури технологічного процесу. Який стан поверхні, якщо поверхня неспокійна – яка причина – наливання, перемішування? Чи утворюється пар або інші випаровування над поверхнею продукту? Вимірювання рівня приладами, які реалізують вимір «зверху» може бути ускладнено через неспокійний стан поверхні або наявності парів. Наприклад, принцип роботи деяких рівнемірів ґрунтується на відображенні сигналу від поверхні продукту.

Неспокійна поверхня продукту або пари можуть послаблювати сигнал, або привести до відсутності відбиття від поверхні. Стан поверхні і парогазової фази в резервуарі в меншій мірі впливають на рівнеміри, що реалізують принцип вимірювання «знизу».

Чи є які-небудь обмеження по монтажу в ємності? Слід, за можливістю, використовувати існуючі відводи і патрубки резервуару. У деяких випадках монтаж утруднений через наявність скляного футерування або здвоєних стінок в ємності. У невеликих ємностей менш доступний простір для монтажу. Доступ до резервуарів може бути обмежений через розташування під землею, або через висоту приміщення, через наявність термоізоляції / підігріву. Плаваючий дах в резервуарі може обмежити монтаж рівнемірів.

Врахування умов експлуатації. Який вплив будуть мати умови навколишнього середовища на технічні характеристики приладу? При монтажі всередині приміщення забезпечується досить стабільне навколишнє середовище з мінімальними коливаннями температури і постійною вологістю. Рівнеміри, встановлені на резервуарах поза приміщеннями, в більшій мірі схильні до впливу температури і вологості.

До інших зовнішніх факторів, які слід враховувати, відносяться вібрації, електромагнітні перешкоди і перехідні процеси (імпульсні перешкоди, викликані грозовими розрядами). Блоки захисту від перехідних процесів і надійне заземлення дозволяють організовувати достатній захист від перехідних процесів.

Врахування характеристик продукту. Рівнеміри одного типу не можуть однаково добре працювати в усіх можливих технологічних процесах. Для застосування в процесах з агресивними технологічними рідинами можуть знадобитися рівнеміри, змочувані частини яких виготовлені зі спеціальних матеріалів. Особливості технологічного процесу можуть по-різному впливати на рівнеміри різного типу:

- в'язкий продукт може забивати чутливі елементи деяких рівнемірів;
- пил, піна і пари можуть заважати поширенню вимірювального сигналу;
- зміна щільності продукту викликає додаткову похибку в роботі датчиків тиску, якщо не застосовується компенсація. Зміна діелектричної постійної (електрохімічна властивість рідини, обумовлена її здатністю передавати електричний заряд від одного тіла іншому) впливає на роботу ємнісних рівнемірів;
- відкладення продукту можуть вплинути на чутливість рівнемірів контактного типу.

Список використаних джерел

1. Харитонов, Ю.Н. Проекты развития информационно-измерительных систем морских портов [Текст]/ Ю.Н. Харитонов, А.Ю. Грешнов // Управление проектами: стан та перспективи: матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції. - Миколаїв: НУК, 2017.- с. 123-124
2. Грешнов, А.Ю. Анализ состояния проблем измерительных систем в морских портах [Текст]/ А.Ю. Грешнов, О.З. Двирная // Сучасні проблеми автоматики та електротехніки: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції.- Миколаїв: НУК, 2017.- с. 7-9.

УДК 681.518

Грешнов А. Ю.

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

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВИБОРУ РІВНЕМІРІВ

Аналіз методів і технологій вимірювання рівня, моделей і типів приладів дозволив визначити процедури вибору рівнеміра і побудувати відповідну модель (рис. 1) [1].

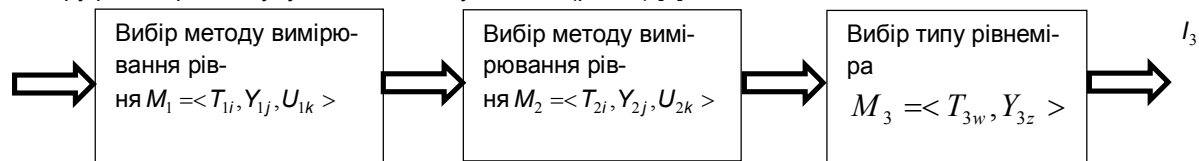


Рис.1

Дана модель відображає основні етапи процесу вибору рівнеміра і містить наступні інформаційні потоки:

$I_0 = \{I_{01}, I_{02}\}$, де I_{01} - вихідні дані про процес, I_{02} - додаткові дані про технологічний процес (фізико-хімічні властивості вимірюваного середовища); $I_1 = \{I_{11}, I_{12}\}$, де I_{11} - дані про технології вимірювання, I_{12} - додаткові відомості про рівнеміри; $I_2 = \{I_{21}, I_{22}\}$, де I_{21} - дані про тип рівнеміра, I_{22} - додаткові критерії вибору; I_3 - дані про марку рівнеміра.

Уявімо інформаційно-логічну модель (ІЛМ) у вигляді сукупності інформаційних моделей і зв'язків між ними. ІЛМ можна уявити як об'єднання множин даних і зв'язків між ними у вигляді правил. ІЛМ представляємо наступним кортежем:

$$M = \langle T, U \rangle, \quad T = (t_1, \dots, t_i, \dots, t_n), \quad U = (u_1, \dots, u_j, \dots, u_s),$$

де $t_1, \dots, t_i, \dots, t_n$ - множина даних ІЛМ;

$u_1, \dots, u_j, \dots, u_s$ - множина правил.

Для даної задачі правила, які входять в модель, побудовані за принципом: якщо ... (умови виконуються), то ... (реалізація слідства), в формалізованому вигляді вони описуються наступним чином:

$$p^k : \{ \text{if}((d_1^k A_1 z_1^k) \wedge (d_2^k A_2 z_2^k) \wedge \dots \wedge (d_n^k A_n z_n^k)) \text{ then} (d_{lm}^k A_{lm} z_{lm}^k) \},$$

де *if* - умова «якщо»; *then* - наслідок «то»; $A_i, A_j \in \{=, >, \geq, <, \leq, \neq\}$, $i = \overline{1, n}$ - арифметичний оператор;

$\wedge \in \{\wedge, \vee\}$ - оператор логіки; d_s^k, d_{lm}^k - відповідно вхідні та вихідні дані моделі; $z^k = \{z_1^k, \dots, z_n^k\}$ - множина значень вхідних даних d_s^k ; $z_{lm}^k \in \{z_{11}^k, \dots, z_{lm}^k\}$ - значення вихідних даних d_{lm}^k ; n - кількість умов, k - індекс правила.

Аналітична модель процесу прийняття рішення щодо вибору рівнеміра може бути представлена наступним кортежем:

$$M = \langle M_1, M_2, M_3 \rangle,$$

де M_1 - модель визначення технології вимірювання рівня; M_2 - модель визначення типу рівнеміра; M_3 - модель визначення марки рівнеміра.

Модель вибору технології вимірювання рівня

$$M_1 = \{T_1(t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}), Y_1(a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}), U_1\}$$

містить параметри:

- технології вимірювання рівня $T_1(t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}, t_{15}, t_{16}, t_{17})$, де t_{11} - ультразвукова; t_{12} - радарна; t_{13} - емкісна; t_{14} - гідростатична; t_{15} - буйкова; t_{16} - хвильоводна; t_{17} - радіаційна;

- умови вибору $Y_1(a_{11}, a_{12}, a_{13}, a_{14}, a_{15}, a_{16}, a_{17})$, де a_{11} - температура, a_{12} - тиск, a_{13} - наявність піни, a_{14} - наявність розділу фаз, a_{15} - хімічна активність, a_{16} - діелектрична проникність, a_{17} - наявність обладнання в резервуарі;

- правила вибору U_1 побудовані за схемою: «якщо ... (умови виконуються), то ... (реалізація слідства)».

Список використаних джерел

1. Современные методы и средства измерения уровня в химической промышленности: учебное пособие [Текст] / А.В. Вильнина, А.Д. Вильнин, Е.В. Ефремов; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 84 с.

УДК 004.03

Горбов В. Ю., Герасін О. С.

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

ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ. СУЧАСНІ МІЖГАЛУЗЕВІ КОНЦЕПЦІЇ

Інтернет речей (англ. Internet of Things, IoT) – технологія, яка робить реальним створення інтелектуальних мереж, що пов'язують мільярди об'єктів і пристроїв між собою і надають інформацію про стан і зміну комунікуючих пристроїв. Доступність цієї інформації для аналізу і прогнозу зміни стану об'єктів (речей) і можливість у ряді ситуацій вплинути на їх стан революційним чином змінює сфери діяльності людини і його соціальне середовище [1]. У 2008 році Національна розвідувальна рада США опублікувала звіт, у якому налічувалось шість цивільних технологій, які володіють в доступній для огляду перспективі найбільшою для суспільства «вибуховою силою» [2].

Вже зараз інтернету речей приділяється увага на найвищому рівні, зокрема починаючи з 2009 року у Брюсселі при підтримці Єврокомісії проходять конференції «Annual Internet of Things», на яких виступають з докладами єврокомісари, науковці та керівники провідних ІТ-компаній. За прогнозами аналітиків у найближчі роки очікується справжній бум інтернету речей. Так, на рис. 1 наведена статистика і прогнози збільшення кількості підключених до інтернету пристроїв (в мільярдах одиниць за вертикаллю та років за горизонталлю) [3]. Крім того, спостерігається справжнє просування від багатьох великих корпорацій технологій Інтернету речей. Корпорація Intel щорічно влаштовує конкурс «Make it Wearable» на краще застосування своєї системи для концепції IoT та створила власний підрозділ «Internet of Things Solutions Group» для розвитку цього напрямку. Компанія «Google» купила і розвиває «Nest Labs» для розвитку цього напрямку тощо.

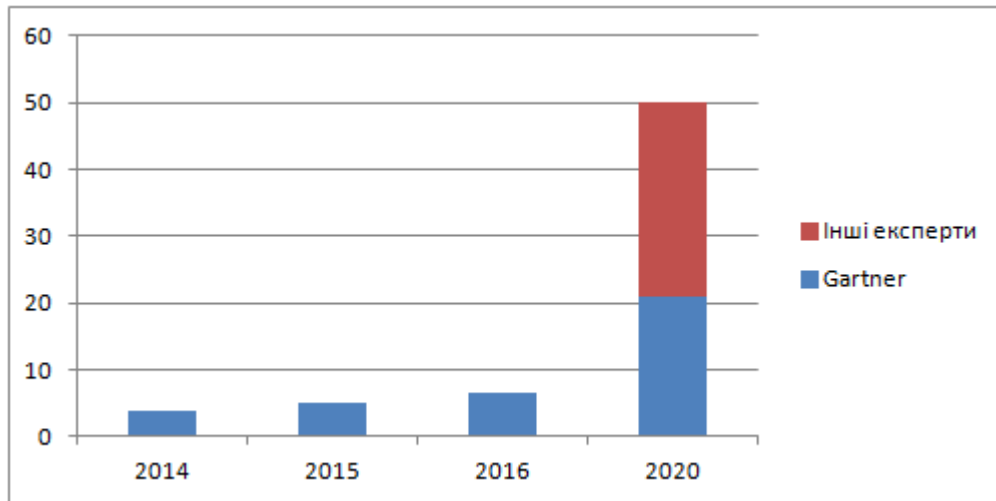


Рис. 1.

Використання інтернету речей можливо в різних сферах, так сучасні найголовніші міжгалузеві концепції IoT найвпливовіші та перспективні з яких показані на рис. 2.

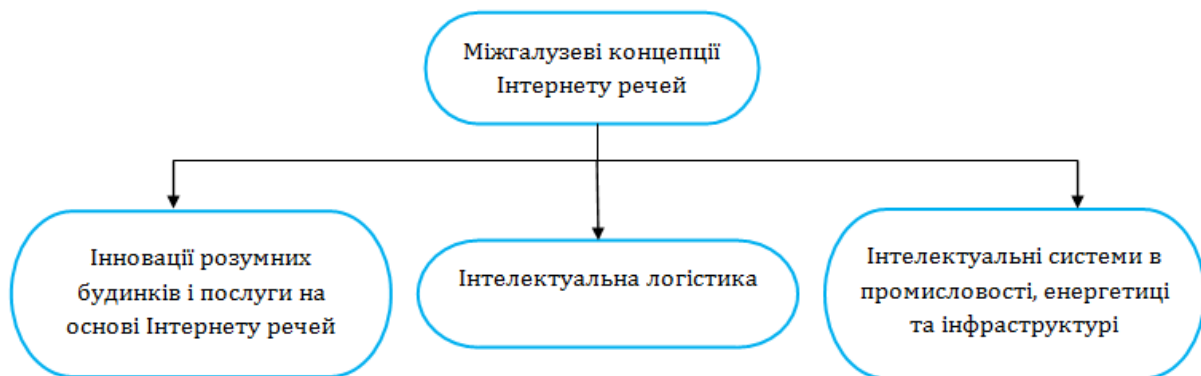


Рис. 2.

Розумні будинки налічують такі речі як: сенсорно керовані, підключені через Wi-Fi, самонавчальні, програмовані термостати та детектори диму, системи відеоспостереження. В свою чергу, послуги на основі Інтернету речей надають можливість застосування Інтернету речей для удосконалення своїх побутових приладів і розширення користувальницьких послуг. Яскравим прикладом інтелектуальної логістики можуть слугувати системи зберігання продуктів з коротким життєвим циклом (такі як морозиво, медикаменти і високоякісні овочі, м'ясо і риба) в ході транспортування, які можуть допомогти логістичним компаніям оптимізувати графіки доставки. Інтернет речей також торкається системи охорони, продовольчої, фармацевтичної і хімічної галузей тощо. Щодо використання інтелектуальних об'єктів в промисловості, енергетиці та інфраструктурі, то комунальне підприємство може економити великі суми, продовжуючи підтримувати надійність і цілісність електромережі замість покупки нового обладнання [4].

Величезну перевагу використання технології інтернету речей можна отримати в промисловості. На основі інтернету речей створено окрему структуру та моделі промислових систем, наприклад SCADA (аббр. от англ. Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерське управління та збір даних) – програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збирання, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління; цим терміном позначаються великі, розподілені системи спостереження та керування. Технології інтернету речей надають унікальні можливості розробникам програм для комплексної обробки даних, систем моніторингу та управління, а також багаторівневих людино-машинних інтерфейсів, розроблених із вбудованими системами для моніторингу та автоматичного контролю основних параметрів технологічного процесу. Промисловий інтернет речей – це багаторівнева система, що включає в себе датчики і контролери, встановлені на вузлах і агрегатах промислового об'єкта, засоби збору та передачі даних, а також їх візуалізації, потужні аналітичні інструменти інтерпретації одержуваної інформації та багато інших компонентів.

Висновок. В сучасних умовах розвиток і злиття автоматизованого виробництва, обміну даних і виробничих технологій в єдину саморегульовану систему, з якнайменшим або взагалі відсутнім втручанням людини у

виробничий процес, без технологій інтернету речей майже неможливий. Тому впровадження і розвиток цієї технології є дуже важливим аспектом для розвитку промислової галузі нашої країни.

Список використаних джерел

1. Бородін В.А. Інтернет речей – наступний етап цифрової революції [Текст] / В.А. Бородін // Освітні ресурси та технології. Категорія «НАУКА ТА ОСВІТА», 2014. – 2(5).
2. Disruptive Civil Technologies. Six Technologies with Potential Impacts on US Interests out to 2025. The National Intelligence Council sponsors workshops and research with nongovernmental experts to gain knowledge and insight and to sharpen debate on critical issues [Text] // National intelligent council. CR 2008-07 April 2008. P. 27-32.
3. Статистика від Gartner по IoT. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gartner.com/newsroom/id/3165317>
4. Бреч Б., Джемісон Д., Шао Л., Уайтвік Г. Все взаємопов'язано [Текст] / Б. Бреч, Д. Джемісон, Л. Шао, Г. Уайтвік // IBM Redbooks® Публікація Point-of-View Академії технологій IBM, 2013. – с. 1 – 5.

СЕКЦІЯ 2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ

УДК 62-347

*Волянська Я. Б., к.т.н., Волянський С. М., к.т.н., Підлубний Д. О.**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв*

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ КЕРОВАНИХ ГІДРОПРОПУЛЬСІВНИХ КОМПЛЕКСІВ

Сучасні автономні плавальні апарати (АПА) реалізують технологічні задачі різного типу і призначення – як в цивільних, так і у військових цілях. Практично всі гідропропульсивні [1] комплекси АПА створюються на основі систем електроруху з різними типами гребних електродвигунів. Зрозуміло, що і тривалість автономного плавання, основні економічні та тактико-технічні характеристики (ТТХ) АПА багато в чому визначаються ефективністю гідропропульсивного комплексу, зокрема – його масогабаритними показниками і ККД. Часто в існуючих АПА і в розроблюваних перспективних зразках АПА, використовують в якості гребних електродвигунів асинхронні трифазні електродвигуни (АД), як баророзвантажені [2], так і загальнопромислового призначення. По ряду вимог до ТТХ АПА, а також з конструктивних міркувань, для деяких вузькоспеціалізованих АПА необхідна частота обертання валу АД, яка змінюється в діапазоні від 500 до 3500 об / хв, а керування швидкістю переміщення АПА здійснюється за рахунок застосування перетворювачів частоти (ПЧ) різного типу, зазвичай, також, загальнопромислового призначення і морського виконання.

Перспективним напрямком модернізації АД в системі електроруху АПА з перетворювачем частоти (ПЧ) є застосування замість двополюсних загальнопромислових АД чотирьохполюсних, при забезпеченні їх напругою з номінальною частотою 100 Гц [3]. В цьому випадку необхідна відповідна зміна головних розмірів статора, ротора і обмотувальних даних. Незважаючи на те, що добре відомі розробки високочастотних (200 і 400 Гц) низьковольтичних асинхронних електродвигунів (для ручного електроінструменту, авіаційної і медичної техніки) можливість модернізації існуючих трифазних загальнопромислових АД, за умови мінімізації витрат на таку модернізацію, мало досліджені, вимагають обґрунтування та уточнення. Також перспективним напрямком модернізації АД, що застосовуються в частотних електроприводах АПА є використання багатополісних АД зі зменшеними головними розмірами статора і ротора при живленні їх напругою з частотою, збільшеною пропорційно числу пар полюсів.

Порівняльні експериментальні дослідження подібного плану для конкретних типів АПА важкі, так як виникає необхідність виготовлення в одиничних (експериментальних) примірниках двох-, чотирьох- і шестіполюсних АД з однаковими посадочними місцями. В даний час такі експерименти не потрібні, так як сучасна теорія електричних машин дозволяє досить точно розрахувати очікувані характеристики модернізованого АД. Крім того, при оціночних розрахунках досить ефективним є метод аналогій для геометрично подібних електричних машин [4]. Таким чином, для порівняння різних варіантів можна використовувати технічні (довідкові) дані загальнопромислових АД, наприклад, серії 4А.

Аналіз рішення про можливість застосування чотириполюсного АД було проведено на прикладі конструкцій найбільш поширених АД, що мають синхронної частоти обертання 3000 об / хв при номінальній частоті мережі 50 Гц.

Виявлено, що виготовлення активної частини двигуна зі сталі марки 2311 з великим вмістом кремнію дозволяє знизити абсолютні втрати в сталі статора і ротора, і тим самим збільшити результуючий ККД АД на 0,8 ... 1,2%. Відзначимо, що для чотириполюсного АД, на відміну від двополюсного можливе застосування і анізотропної холоднокатаної сталі, наприклад, марки 3413 з товщиною листа 0,35 мм ($P_{1,5/50} = 1,3$ Вт / кг, $P_{1,7/50} = 1,9$ Вт / кг), що дасть збільшення результуючого ККД не менше, ніж на 0,2%.

Висновки. Запропоновано методику оцінки очікуваних техніко-економічних показників трифазних асинхронних електродвигунів для автономних плавальних апаратів після незначної зміни їх конструкції, в основному – укорочення довжини статора. Методами аналогії геометрично подібних електричних машин і теорії електричних машин встановлено, що така можливість з'являється при переробці чотирьох- або шестіполюсних трифазних асинхронних електродвигунів на підвищену (в два або три рази) номінальну частоту живлення, за умови забезпечення необхідних електромагнітних навантажень.

Наведено основні розрахункові співвідношення, що дозволяють дати порівняльну оцінку габаритним і енергетичним параметрам електродвигунів. На основі розглянутого прикладу для двигунів 4АА50А2 і 4АА50В4, встановлено, що після мінімальної конструктивної переробки, потужність електродвигуна зростає з 90 до 102 Вт, довжина сердечника статора знижується з 50 до 33,4 мм, маса активної частини знижується з 1,52 до 1,32 кг, а енергетичний фактор зростає від 0,42 до 0,56 і вище, за умови застосування холоднокатаних, з великим вмістом кремнію, сталей.

Список використаних джерел

1. Будашко В. В. Физическое моделирование многофункционального пропульсивного комплекса [Текст] / В. В. Будашко, О. А. Онищенко, Е. А. Юшков // Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). – 2014. – №2. – С. 88–92.
2. Volyanska Ya. Development of specialized modeling complex to study control systems of movable maritime objects [Text] / Ya. Volyanska, S. Volyanskiy // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2017. – № 1/9 (85). – С.26–33.
3. Пат. JP10285888 (А) Японія, МПК6 H02K 17/16. High frequency induction motor / Kodera Hiroji (Японія); заявитель и патентообладатель Kodera Denshi Seisakusho KK. – №JP19970098505; заявл. 31.03.1997; опубл. 23.10.1998.
4. Geisbert J. S. Hydrodynamic Modeling for Autonomous Underwater Vehicles Using Computational and Semi-Empirical Methods [Text] / J. S. Geisbert // Virginia Polytech Institute and State University, Blacksburg. – 2007. – Vol. 17. – Pp. 247–251.

УДК 621.395.66

Колесник І. А., Рябенський В. М., д.т.н.

Національний університет кораблебудування імені адм. Макарова. м. Миколаїв.

ТРИФАЗНИЙ РЕГУЛЯТОР ПОТУЖНОСТІ НА МІКРОКОНТРОЛЕРІ АТМЕГА8

Традиційний спосіб порошкової металургії – спікання в печах, все частіше замінюється більш продуктивними і ефективними технологіями. Дослідження останніх років зосереджені на вивченні процесів спікання під дією електромагнітних полів. Для перших робіт характерно використання електромагнітних полів мікрохвильового діапазону (10^{10} Гц) [1, 2]. Останнім часом спостерігається тенденція зростання частоти коливань до інфрачервоного випромінювання (10^{13} Гц). Проаналізувавши та дослідивши сучасні роботи було вирішено створити установку для здійснення спікання порошкового матеріалу під дією електромагнітного поля ультрафіолетового діапазону (10 петаГерц). Як джерело випромінювання була обрана пара дугово-ртутних ламп типу ДРГТ 3000 (3 кВт). З метою проведення експериментів при різних режимах роботи був розроблений трифазний регулятор потужності на мікроконтролері. За рахунок цього з'являється можливість керувати температурою спікання. Пристрій заснований на фазному методі регулювання. Управління проводиться кнопками, світлодіодний індикатор режимів роботи (світлодіод) показує стан пристрою. Схема пристрою для зручності розділена на функціональні блоки. Це дає можливість вносити подальші зміни і поліпшення конструкції, без кардинальної переробки всієї схеми. Нижче буде описано кожен блок окремо.

Силовая схема. Схема побудована на потужних оптоісторних модулях МТОТО 80 – 12. Використовується три модулі, по одному в кожен фазу (рис. 1). Керуючі імпульси приходять одночасно на обидва силових ключа, але відкривається тільки той, до якого прикладено напругу в прямій полярності. Мікроконтролер формує керуючі імпульси, які посилюються складовими транзисторами Т7–Т9. Імпульси модульовані високою частотою, для зменшення струму через оптрони. Живлення оптронів здійснюється нестабілізованою напругою 15В.

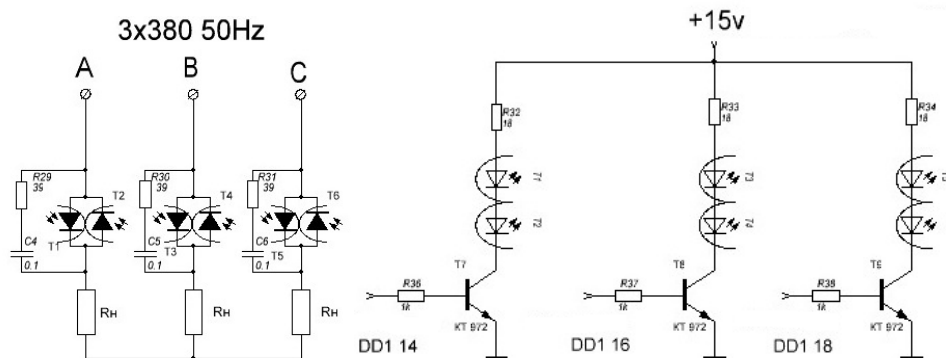


Рис. 1. Схема силовій частини пристрою

Схема джерела живлення. Використовується дві напруги – нестабілізована 15 В і стабілізована 5 В, споживання становить приблизно 300 мА, в більшій мірі залежить від світлодіодного індикатора і використовуваних силових елементів (рис. 2).

Схема блоку синхронізації. Блок синхронізації містить три однакових канала. Кожен канал підключений між двох фаз, тобто канали включені трикутником. У момент рівності фазних напруг (точка перетину синусоїд) формується імпульс, який використовується для синхронізації (рис. 3).

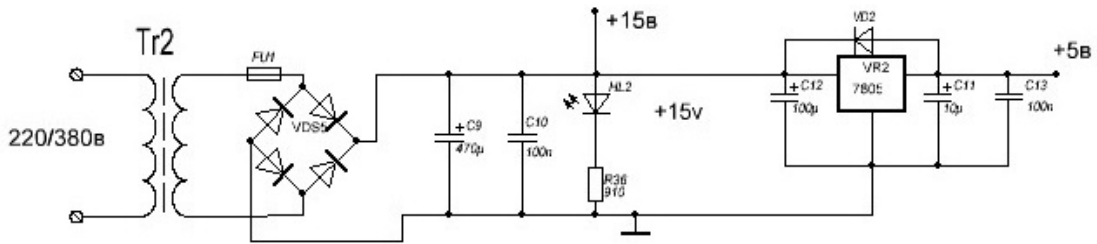


Рис. 2. Схема блоку живлення

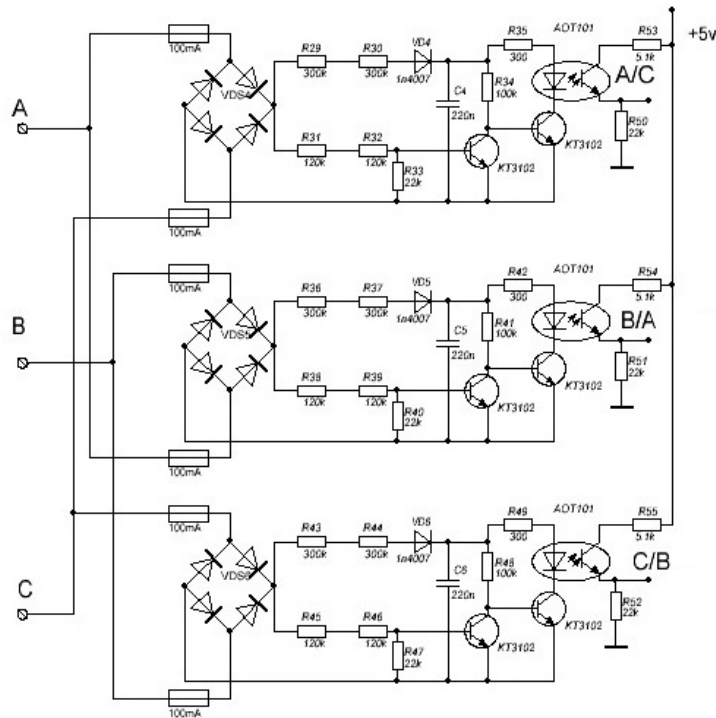


Рис. 3. Схема блоку синхронізації

Блок керування. Мікроконтролер АТмега8 [4] видає імпульси управління на тиристори, і забезпечує індикацію режимів роботи (рис. 4). Працює від внутрішнього генератора, тактова 8 МГц. Семисегментний світлодіодний індикатор із загальним анодом, на три знака. Управляється через три анодних ключа Т1-Т3, сегменти перемикаються зсувними регістром. Світлодіод HL1 показує основні стани пристрою. Пуск і зупинка здійснюється перемикачем SB1. Регулювання потужності або від кнопок Up, Down, або від задатчика R6, вибір здійснюється через меню. Дросель L будь-який малогабаритний, потрібен для кращої фільтрації опорного напруги АЦП мікроконтролера.

Робота регулятора потужності. При фазо-імпульсному регулюванні напруга на навантаженні плавно змінюється практично від нуля, до максимуму, шляхом зміни кута відкриття тиристорів. На малих напругах (великий кут відкриття) можливо перерегулювання, пов'язане з неточністю потрапляння імпульсу синхронізації в момент перетину синусоїд. Для виключення цього ефекту нижня межа задана значенням 10. Через меню, при необхідності можна змінити її в діапазоні від 0 до 99. Так само важливо, щоб чергування фаз мережі було правильним А-В-С. Для перевірки можна при включенні пристрою провести тест на правильне чергування фаз. Для цього необхідно при включенні пристрою, коли на індикаторі відображаються символи – 0 – три-матити кнопку тепи, якщо фазировка правильна індикатор відобразить символи AbC, якщо немає ACb, і потрібно перекинути місцями дві будь-які фази. Якщо відпустити кнопку тепи пристрій перейде в основний режим роботи. При включенні відбувається зчитування налаштувань з незалежної пам'яті МК, якщо в пам'яті немає значень, або вони є некоректними, встановлюються значення за замовчуванням. Далі МК перевіряє наявність імпульсів синхронізації і стан перемикача SB1. Якщо SB1 в розімкнутому стані імпульси управління не видаються, на індикатор виводиться повідомлення OFF, світлодіод HL1 мигає з високою частотою. Якщо замкнути SB1 на індикаторі висвітлиться поточне завдання потужності, будуть формуватися імпульси управління, світлодіод HL1 світлитися постійно. Якщо під час пуску або під час роботи пропадуть керуючі імпульси більш ніж на 10 секунд, індикатор відобразить цифри 380, світлодіод буде моргати з низькою частотою, імпульси управління тиристорами знімуться. При появі імпульсів синхронізації, пристрій повернеться до роботи. Так було зроблено в зв'язку з поганою мережею в місці експлуатації пристрою, частими перебоями і переко-сами фаз. Також можуть бути доступними чотири підменю, що перемикаються кнопкою тепи, якщо кнопку не

було натиснуто деякий час, відображається поточний встановлений рівень потужності умовно від 0 до 100. Рівень потужності змінюється кнопками Up або Down.

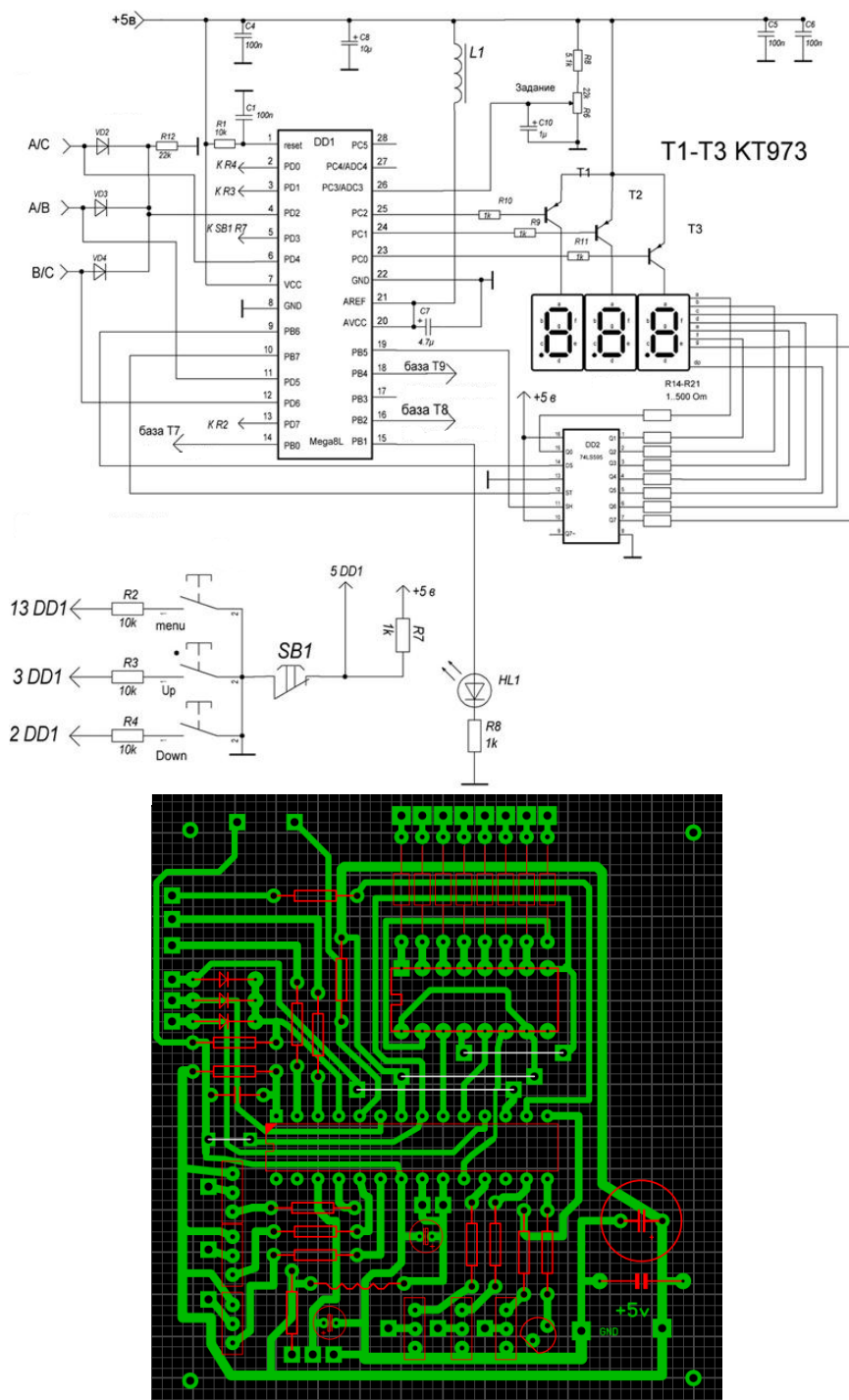


Рис. 4. Схема блоку керування

Список використаних джерел

1. P. Chhillar, D. Agrawal, J. H. Adair. Sintering of molybdenum metal powder using microwave energy [Text] / P. Chhillar, D. Agrawal, J. H. Adair. Powder Metallurgy., 2008, – 182 p.
2. Radha Raman Mishra, Rajesha S and A.K. Sharma. Microwave Sintering of Pure Metal Powders [Text] / Radha Raman Mishra, Rajesha S and A.K. Sharma. International Journal of Advanced Mechanical Engineering. ISSN 2250-3234 Volume 4, Number 3., 2014. – 315 p.
3. Ярив В. М. Джерела живлення електричних печей опору [Текст] / В.М.Ярив. Чувашський державний університет імені І.Н. Ульянова. Навчальний посібник 1982. – 122 с.
4. Євстіфєєв А. В. Мікроконтролери AVR сімейства [Текст] / А.В.Євстіфєєв. [Доджа-XXI](#) 2007р. – 592 с.

УДК 681.5

*Білюк І. С., к.т.н., Бугрім Л. І., к.т.н., Ветушко Р. П.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв***ЕЛЕКТРОПРИВОД СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ГОРІННЯ ПАРОВОГО КОТЛА**

Система автоматичного керування співвідношенням “паливо” – “повітря” широко застосовується у роботі парових котлів теплоелектроцентралей, що використовують як основне паливо природний газ. Призначення регулятора у цій системі – підтримувати задане співвідношення між кількістю палива й повітря у всьому діапазоні зміни подачі палива. Повітря в топку подається за допомогою вентилятора, електроприводом якого є асинхронний двигун.

Найбільш простим і найпоширенішим способом регулювання вентиляторів є дроселювання. При цьому вентилятор вхолосту витрачає частину своєї потужності, долаючи вводиться в напірний або всмоктуючий повітропровід опір (шибер). Тому частина споживаної агрегатом електроенергії витрачається вхолосту. Додаткове обладнання, необхідне в цьому випадку, має низьку надійність, важко регульоване і споживає багато енергії. Таким чином, технологія дросельного регулювання (за допомогою засувки): неекономічна, вимагає постійного контролю черговим персоналом, допускає великі коливання, викликає підвищений знос обладнання [1].

Найбільш ефективним і економічним способом регулювання продуктивності вентиляторів є плавна зміна їх швидкості обертання, яке досягається застосуванням частотно-регульованого електроприводу. Зміна частоти мережі живлення є завданням, що розв’язується перетворювачами частоти [2]. Сучасні досягнення електроніки дозволяють здійснювати зміну частоти з похибкою 0,01%. Застосування частотно регульованого електропривода вентиляторів дозволяє досягти наступних переваг в порівнянні з традиційними методами: зменшення енергоспоживання в середньому на 30-40%; підтримання заданої витрати повітря або температури охолоджуваного об’єкта; усунення пускових струмів і перевантажень двигуна; зменшення механічного зносу устаткування і зниження витрат на його технічне обслуговування та ремонт; збільшення терміну служби контактно-комутаційної апаратури і зниження ймовірності виходу з ладу двигунів; у всьому діапазоні робочих швидкостей і навантажень, коефіцієнт потужності електроприводу близький до одиниці.

До недоліків можна віднести те, що необхідно враховувати інерційність димососів і вентиляторів з метою забезпечення надійної роботи.

Об’єктом регулювання у досліджуємі системі є ділянка повітряного тракту від вентилятора до місця виміру витрати повітря. Її динамічні властивості з достатньою для практичних розрахунків точністю можуть бути представлені передатною функцією послідовного з’єднання аперіодичної ланки першого порядку із ланкою запізнення:

$$W_0(p) = \frac{k_0 e^{-p\tau}}{T_0 p + 1},$$

де $k_0 = P_i / Q_i$; $T_0 = V / Q_i$; $\tau = L / v$; P_i , Q_i – середній тиск та витрата повітря при номінальному навантаженні котла; L – довжина ділянки; v – швидкість повітря при номінальному навантаженні котла [1, 3].

В даному повідомленні приводяться результати імітаційного моделювання автоматизованого електропривода системи автоматичного керування процесом горіння парового котла. Система досліджувалася з урахуванням інерційності її елементів. Отримані перехідні процеси показали, що запропонована система керування забезпечує показники керування відповідно до вимог до котельної установки.

Висновки. Запропонована система керування процесом горіння парового котла з застосуванням частотно-регульованого електропривода вентилятора забезпечує необхідні показники якості керування та є стійкою.

Список використаних джерел

1. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций [Текст] / Г.П.Плетнев – М.: Энергоиздат, 1981. – 240 с.
2. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов [Текст] / М.П. Белов – М.: Академия, 2007. – 576 с.
3. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування [Текст] / М.Г. Попович, О.В. Ковальчук – К.: Либідь, 2007. – 656 с.

УДК 681.5

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

БЛОК ЖИВЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Одним з важливих елементів лабораторних стендів з дослідження елементів систем автоматики є блок живлення, призначений для забезпечення стенду електричною енергією з заданими параметрами. Основними задачами блоку живлення є: забезпечення передачі потужності, стабілізація параметрів електричної енергії та захист установки. Саме тому задача вдосконалення пристрою, з метою підвищення якості його роботи та надійності є актуальною.

Відомий блок живлення лабораторного стенда, що містить печатну плату, на якій розташовані мікросхема, схеми входу і виходу сигналів, які побудовані за допомогою діодних мостів і фільтрів з електролітними ємностями, транзисторні ключі та трансформатор живлення [1].

У роботі [2] запропоновано вдосконалену конструкцію блока живлення лабораторного стенда, принципова схема якого представлена на рис. 1.

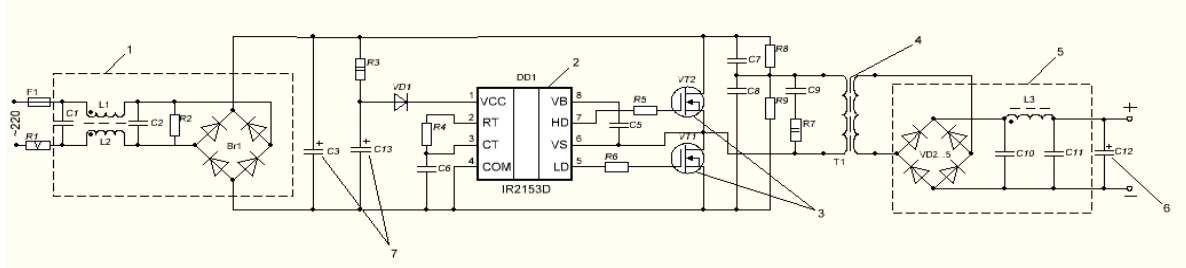


Рис. 1

На рис. 1 позначено: вхідний діодний міст з фільтром – 1; мікросхема IR2153D – 2; транзисторні ключі – 3; феритовий трансформатор – 4; вихідний діодний міст з фільтром – 5 та плівкові ємності – 6,7.

В представленому лабораторному блоку живлення для елементів систем автоматики ненадійні електролітні ємності було би замінено на компактні плівкові, а живлення пристосовано для промислової частоти 50 Гц.

Для вирішення цієї задачі додано вхідний фільтр 1. Він виконує функцію захисту від високочастотних та імпульсних перешкод, резистор R2 розряджає конденсатори C1, C2 після відключення блоку живлення від мережі. Конденсатори C7, C8 створюють точку, для підключення другого виводу первинної обмотки трансформатора, а також загнчують високочастотні перешкоди. Резистори R8, R9 використовуються для розрядки конденсаторів C7, C8, включаючи накопичувальну ємність C3. Ланка R7, C9 використовується для загнчення паразитних коливань, комутаційних перешкод, що виникають на трансформаторі внаслідок ключового режиму роботи транзисторів VT1, VT2. Вхідний трансформатор виконаний на феритовому тороїдальному магнітопроводі, з робочою частотою 50 кГц, що дозволяє уникнути нагрівання обмоток. Система стала більш стабільною за рахунок виключення можливості насичення магнітопроводу і зниження втрат в ньому. На виході схеми встановлено П-подібний фільтр 5, на ємностях C10, C11 і дроселі індуктивності Dr2.

Покращення компактності, надійності та довговічності системи керування досягається за рахунок використання плівкових ємностей замість електролітних та використання трансформатора живлення на феритовому тороїдальному магнітопроводі.

Висновки. Запропонована корисна модель відноситься до лабораторних стендів з дослідження елементів систем автоматики, промислових робіт і може бути використана в інших технічних пристроях електромеханічних систем керування електроприводами. Вона забезпечує необхідні параметри електричної енергії живлення стенду та захист установки.

Список використаних джерел

1. Импульсный блок питания на IR2151-IR2153 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://radiostroi.ru/index.php/pitan776/57-impblokpitkomp.html/>.
2. Пат. №117658 Україна, МПК G05B 23/02 (2006.01) Блок живлення лабораторного стенда / Савченко О. В., Шарейко Д. Ю., Фоменко А. М., Білюк І. С., Ольшевський С. І., Фоменко Л. А., Ярошін О. В., заявник та патентовласник Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова. – № u201605992, заявл. 02.06.2016; опубл. 10.07.2017, бюл. № 13.

УДК 621.316.71

Ольшєвський С. І., Білюк І. С., к.т.н., Савченко О.В., Шахнов В.Т.

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

СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗІ БЕЗКОЛЕКТОРНОГО ТРИФАЗНОГО ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Безколекторні двигуни постійного струму (БДПС) є різновидом синхронних електродвигунів з постійними магнітами на рухомому роторі та багатофазними обмотками на статорі, струм у яких регулюється за заданим законом керування. Повноцінне дослідження роботи електропривода на базі таких електродвигунів можливо (і бажано) виконувати двома способами – математичне імітаційне моделювання та натурне моделювання на електронному стенді.

Математична модель електропривода системи керування БДПС потрібна містити математичні моделі тих самих складових, що утворюють апаратно-програмну структуру стенду – БДПС, трифазного транзисторного інвертору, драйверу, датчиків струму, швидкості, куту. У якості вихідної координати будемо розглядати швидкість обертання ротору БДПС, що вимірюється за допомогою проти-ЕРС двигуна.

Система керування має нелінійні елементи такі як інвертор напруги та БДПС. Для спрощення математичного моделювання зробимо припущення, що постійні часу інвертору напруги не залежать від навантаження та вихідної частоти, а БДПС описується лінеаризованою моделлю та його регульовальна характеристика абсолютно лінійна. Також вважаємо, що швидкість обертання ротора БДПС прямопропорційна частоті.

На основі математичного опису БДПС електродвигуна [2] проводимо перетворювання для отримання рівняння динаміки в операторній формі:

$$\omega_p(p) = \frac{0.5 \cdot k_t \cdot I_{cp} - k_f \cdot \omega_p - M_H}{1} \cdot \frac{1}{J \cdot p} \quad (1)$$

де k_t – коефіцієнт урахування середнього струму обмотки, I_{cp} – середній струм обмотки, k_f – коефіцієнт урахування впливу частоти на протиЕРС, M_H – момент навантаження, J – момент інерції.

Вважаючи, що БДПС працює на лінійному відрізку характеристики та використовуючи лінеаризовану модель електродвигуна [2, 3] з урахуванням (1) отримуємо:

$$\omega_p(p) = \left[\frac{G}{T_d \cdot p + 1} - (M_H(p) + k_f \cdot \omega_p(p)) \right] \cdot \frac{1}{J \cdot p}, \quad (2)$$

де параметр $G = \frac{M_{НОМ}}{\omega_0 - \omega_{НОМ}}$ – жорсткість робочої ділянки характеристики, $M_{НОМ}$ – номінальний момент, ω_0 –

максимальна частота обертання, $\omega_{НОМ}$ – номінальна частота обертання, T_d – постійна часу БДПС.

На підставі рівняння (2) складемо структурну схему лінеаризованої моделі БДПС (рис. 1).

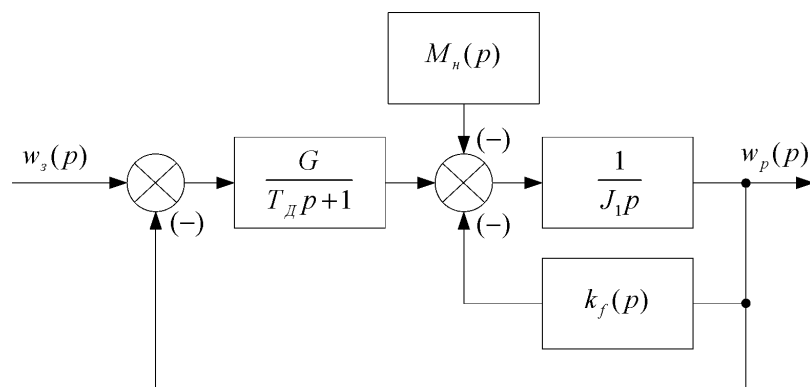


Рис. 1. Структурна схема лінеаризованої моделі БДПС

Використовуючи модель двигуна та урахуовуючи структуру системи керування отримуємо структурну схему для імітаційного моделювання – рис. 2.

Для проведення досліджень у середовищі Matlab була сформована розрахункова схема – рис. 3. До структурної схеми були додані елементи для формування вхідних впливів, навантаження, вимірювальні пристрої.

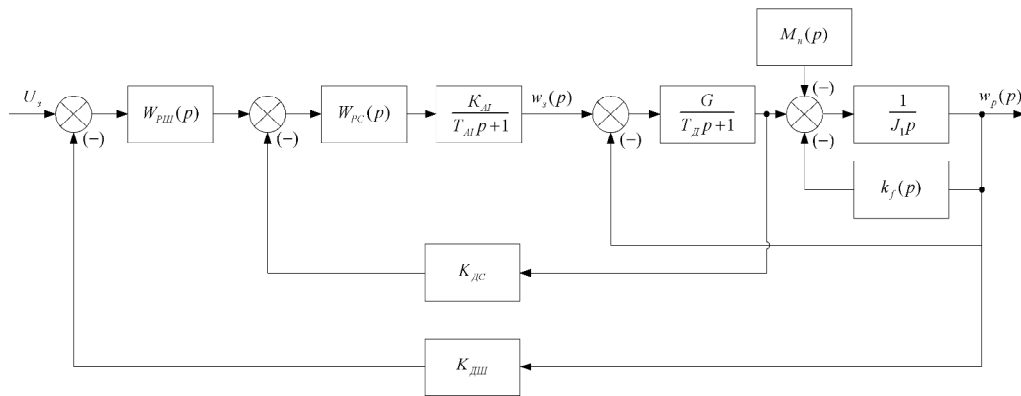


Рис. 2. Структурна схема для імітаційного моделювання

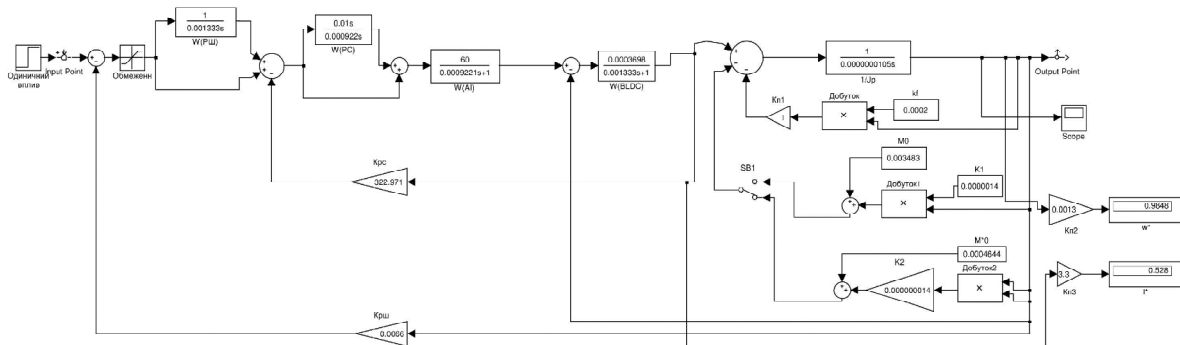


Рис. 3. Схема для проведення досліджень

Схема відповідає наявній системі включаючи такі деталі, як обмеження сигналів помилки по амплітуді.

В результаті дослідження динаміки системи визначені параметри настроювання регуляторів і для цих параметрів розраховані перехідні процеси для лінійного та квадратичного законів навантаження – визначається положенням перемикача SB1 на рисунку 3. Результат для квадратичного закону представлений на рисунку 4.

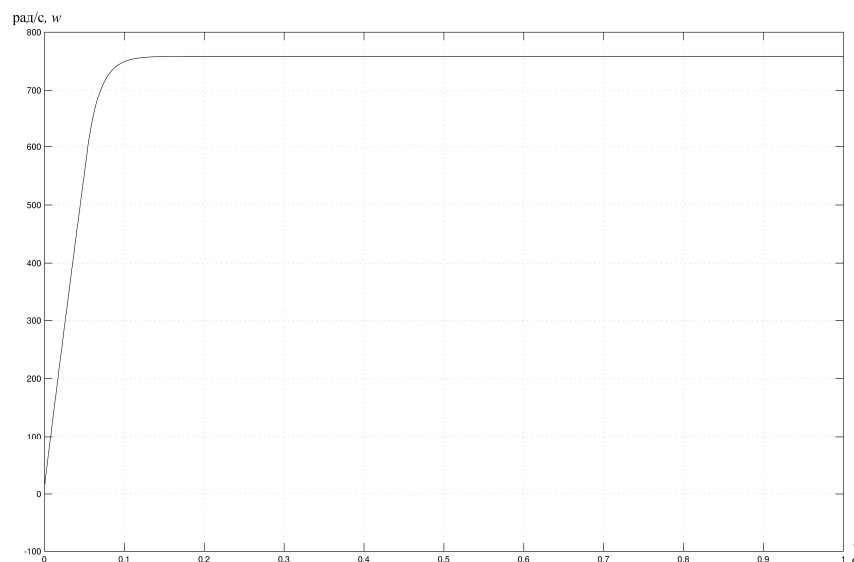


Рис. 4. Перехідний процес за швидкістю з квадратичним видом закону навантаження

Після проведення математичного моделювання та отримання параметрів регуляторів, виконується програмування контролера системи керування та проводиться натурне моделювання.

Один з можливих видів панелі віртуальних пристроїв наведений на рисунку 5.

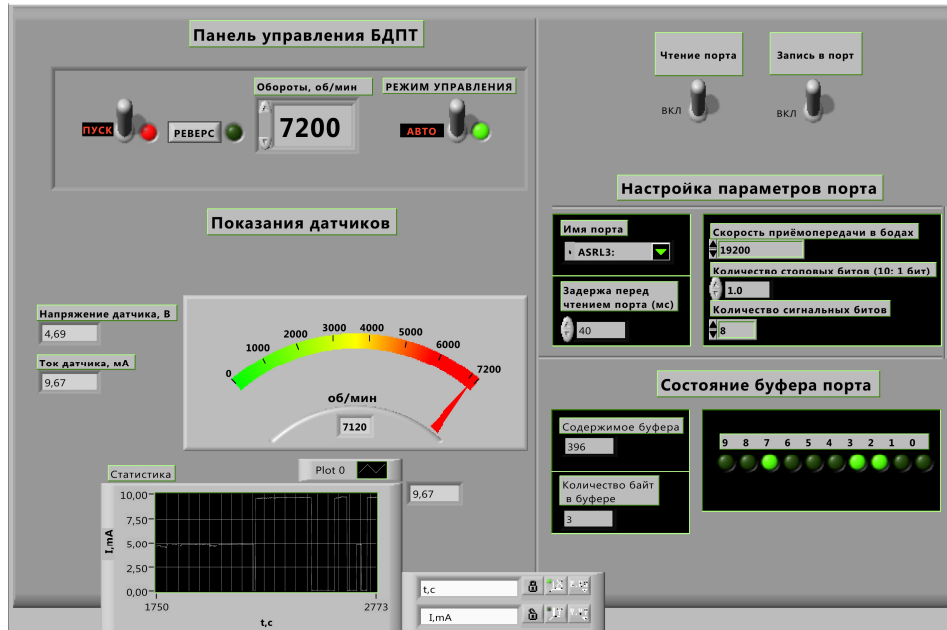


Рис. 5. Загальний вид консолі керування

Крім дослідження перехідних режимів за допомогою стенда мається можливість вимірювати електромеханічні характеристики БДПС, в тому числі і з не повністю визначеними параметрами. А це, в свою чергу, дозволяє отримувати достовірні дані про параметри двигунів для використання у подальшому.

На рисунку 6 наведений вигляд електромеханічної характеристики швидкісного БДПС у відносних одиницях по частоті обертання (режим без навантаження). Діапазон частот обертання від 100 до 7200 об/хв.

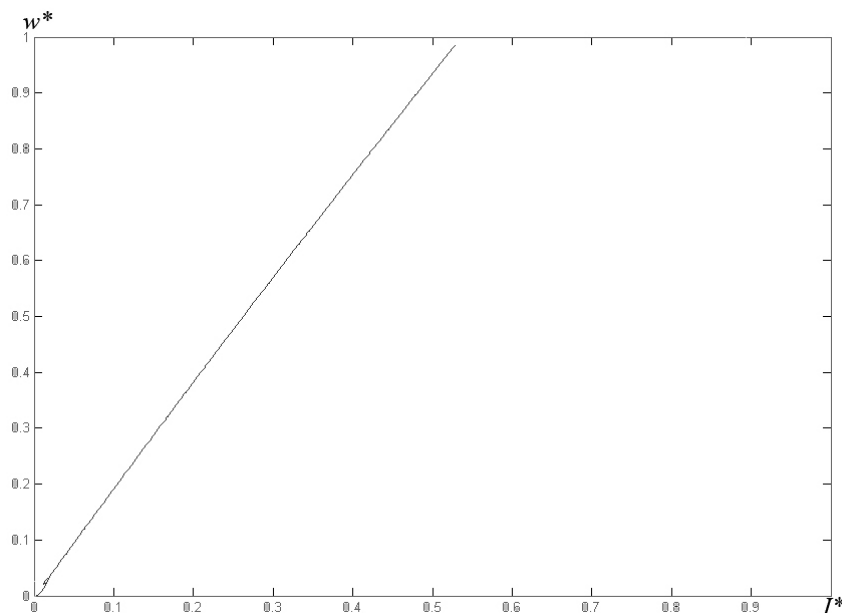


Рис. 6. Електромеханічна характеристика БДПС

Висновки. Запропоновано реалізація математичної моделі та дослідження роботи безконтактного електродвигуна постійного струму в складі мікроконтролерної системи керування. Моделювання роботи системи керування дозволило уточнити параметри регуляторів, що забезпечують необхідні показники якості керування.

Список використаних джерел

1. П. Хоровиц, У. Хилл. Искусство схемотехники. Том 1. [Текст] / П. Хоровиц – М.: Мир, 1983. – 590с.
2. Stefan Baldursson. BLDC Motor Modelling and Control – A Matlab/Simulink Implementation [Text] / Stefan Baldursson – Goteborg, 2005. – 86p.
3. Ward Brown. Brushless DC Motor Control Made Easy [Text] / Ward Brown – Microchip Technology Inc., 2002. – 58p.

СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ КОМПЛЕКСИ, ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ

УДК 621.31+621.3.04

Ставинський А. А.¹, д.т.н., Авдєєва О. А.², к.т.н., Вахоніна Л. В.¹, к.ф-м.н.

¹Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв

²Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

ОСНОВНІ ВИМОГИ СУЧАСНОГО РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН І ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА КОМПЛЕКСІВ НА ЇХ ОСНОВІ

У нинішній час загальна виробнича і побутова діяльність людства базується на створенні та використанні електричної енергії. Вироблення, розподіл і перетворення електричної енергії в механічну, а також управління вказаними процесами, складають енергетичний цикл усіх галузей виробництва. Сучасний стан загальної енергетики характеризується тим, що глобальні процеси супроводжуються зростанням дефіциту і вартості сировини та енергоносіїв. Ці процеси викликають підвищення енергетичних вимог до промислового обладнання та пошук засобів енергоресурсозбереження в електромашинно- і апаратуробудуванні та удосконалення на новій елементній основі систем генерування і перетворення та комплексів електропостачання.

В найближчому майбутньому не передбачаються розробки засобів більш простого рішення задач безконтактних передачі і перетворення енергії, які були б простішими, дешевшими і надійнішими за безконтактні індукційні перетворювачі – трансформатори і асинхронні двигуни (АД) з короткозамкненим ротором. Активна частина таких статичних і рухомих електричних машин (ЕМ) включає трифазні та багатофазні обмотки в складі феромагнітних магнітопроводів. Основні структури і конструкції трифазних трансформаторів (ТТ) та технічні рішення АД з розподіленою обмоткою статора та короткозамкненим і фазним роторами були запропоновані видатним винахідником та вченим М.О. Доливо-Добровольським в 1889 році і майже за 100 років практично не перетерпіли змін.

Задачі удосконалення асинхронних двигунів і електроприводів потужністю до 200 кВт. В суспільному виробництві України експлуатуються десятки мільйонів АД загальною потужністю (40...50) млн. кВт (табл. 1) [1]. З цих двигунів на протязі року 10% виходять з ладу. В агропромисловому комплексі середній термін експлуатації АД складає 3 роки, а в окремих галузях промисловості їх аварійність складає від 20% до 60% [2]. Ремонт АД супроводжується, в основному, зниженням коефіцієнту корисної дії (ККД) і надійності, тому і вважається не зовсім доцільним [1]. За даними європейських експертів вартість енергії, що споживає середній АД в промисловості, в 5 разів перевищує його вартість [3].

Таблиця 1

Розподіл асинхронних двигунів за потужністю і споживанню електроенергії

Потужність, кВт	До 1,0	1,0...5,0	5,0...20,0	20,0...100,0	>100,0
% від загальної кількості	10	60	20	9	1
% від загального споживання електроенергії	5	40	30	20	5

З табл. 1 виходить, що з загального парку АД 95% електроенергії споживають АД потужністю до 100 кВт. В цілому асинхронні електроприводи потужністю (1...100) кВт споживають близько 90% загальної енергії, що перетворюють усі електроприводи [1]. На рис. 1 наведено фрагмент нормативів енергоефективності електродвигунів, що прийняті комісією виробників ЕМ і силової електроніки Європейського союзу. Залежність ККД від потужності за нормами EFF2 відповідає двигунам держав колишнього СРСР [4].

Згідно вказаному рисунку ККД АД загального призначення в діапазоні потужності від 1,5 до 250 кВт повинен зрости відповідно з 0,75 до 0,9 та з 0,94 до 0,975.

Реалізація задач підвищення енергоефективності систем і комплексів електрообладнання обумовлює стійке зростання матеріалоємності і відповідно ціни ЕМ з початку 80-х років минулого сторіччя [4–6]. Розробка АД з підвищеними ККД і матеріалоємністю характерна для Японії, США і провідних держав західної Європи. В табл. 2 наведено залежності змін економії енергії при експлуатації, ціни та терміну окупності від енергетичної ефективності варіантів АД з різними рівнями питомої матеріалоємності. Потужність і частота обертання при частоті електричного живлення 50 Гц кожного з вказаних варіантів складають 15 кВт і 1500 об/хв [4]. Підвищення ККД енергозберігаючих АД досягається за рахунок зниження щільності струму і збільшення активної довжини статора в середньому до 20% [4–6].

Суттєва економія електроенергії також пов'язана з використанням АД, статичних і рухомих ЕМ в складі регульованих і автоматизованих та комп'ютеризованих електромеханічних систем та електротехнічних ком-

плексів. До складу вказаних об'єктів крім ЕМ і апаратів контролю і захисту входять перетворювачі частоти, пристрої плавного пуску та регулятори збудження постійним струмом, редуктори і мультиплікатори, а також системи керування та обчислювальні пристрої. Оптимальні комбінації названих елементів дозволяють створити енергоефективні і високотехнологічні системи електрообладнання [1–4].

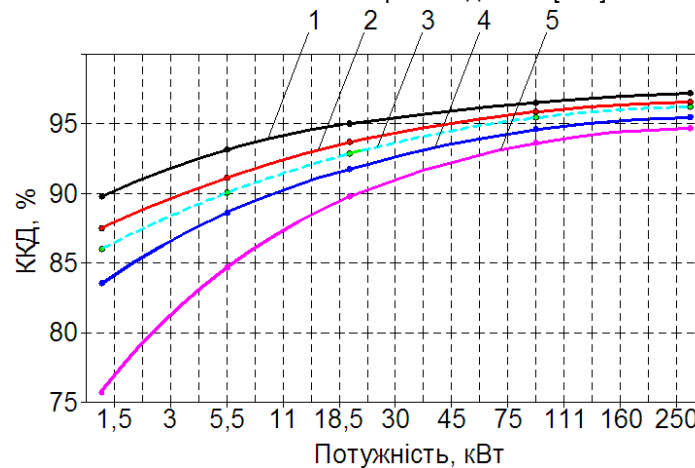


Рис. 1 – Показники енергоефективності асинхронних двигунів: 1 – енергоефективність А; 2 – енергоефективність В; 3 – енергоефективність С; 4 – енергоефективність EFF1-D; 5 – енергоефективність EFF2.

Таблиця 2

Залежність економії електроенергії та підвищення ціни і окупності експлуатації від енергоефективності асинхронного двигуна при зміні матеріалоемності

Рівень енергоефективності	Коефіцієнт корисної дії, %	Економія, кВт·год.	Підвищення ціни, %	Термін окупності, рік, місяць
EFF2	89,5	-	-	-
EFF1-D	91,8	1000	25	2,4
С	92,6	1350	36	2,6
В	93,7	1800	50	2,7
А	94,5	2150	81	3,6

Розвиток силових і мікропроцесорної електроніки надав поштовх широкому застосуванню електромеханічних систем з силовими ланками "перетворювач частоти – АД". Діапазон регулювання вказаних систем, при підвищенні надійності, простоти і технологічності та низької вартості АД відносно колекторних двигунів, відповідає аналогам постійного струму. В минулому часі широкому використанню частотного регулювання АД перешкождала висока вартість силових напівпровідникових керованих перетворювачів.

Зниження вартості силових напівпровідникових пристроїв в поєднанні зі зростанням цін на електротехнічні матеріали (рис. 2) і тенденція до продовження такого процесу змінила регульований привод кардинально [4]. Значним недоліком систем промислового електрообладнання України, згідно [1], є недостатня складова вказаного енергоресурсозберігаючого асинхронного регульованого електроприводу.

З наведеного, табл. 1, 2 і рис. 1, 2 випливає, що основними напрямками економії електроенергії та матеріальних ресурсів в Україні повинно стати удосконалення загальнопромислових і спеціальних АД малої і середньої потужності та заміна нерегульованого асинхронного електроприводу на регульований.

Удосконалення конструкцій і технології виробництва АД відбувається за двома комплексними напрямками. У відповідності до першого напрямку вирішується задача подальшого удосконалення класичних АД (КАД) з метою розробки високоекономічних серій загального призначення [7]. Другий напрямок уявляється в створенні АД, які призначені для конкретних механізмів і режимів роботи [8, 9]. Важливими складовими частинами задач підвищення технічного рівня АД усіх призначень, крім оптимізації питомої потужності, є зниження матеріаломісткості конструктивної частини, а також послаблення теплових і механічних факторів, що прискорюють процес старіння ізоляції обмоток. Особливо актуальними вимогами удосконалення конструкцій і технологій КАД масового випуску є підвищення екологічності виробництва, в першу чергу ливарного виготовлення елементів металевих оболонок електромагнітних систем (ЕМС) та економія металургійного прокату електротехнічної сталі (ЕТС). Тому удосконалення АД повинно відбуватися в напрямку інтенсифікації теплообміну акти-

вної частини з зовнішнім середовищем, зниження маси зовнішніх і внутрішніх елементів конструктивної частини, а також рішення проблеми зниження відходів ЕТС виробництва магнітопроводів. Технологічним резервом підвищення ККД є досягнення зменшення довжини лобових частин і додаткових втрат шляхом підвищення якості та створення нових способів укладання секцій і ізоляції обмотки статора та заливки пазів ротора, а також бездеформаційних технологій складання і скріплення шарів ЕТС магнітопроводів [4, 7, 9, 10].

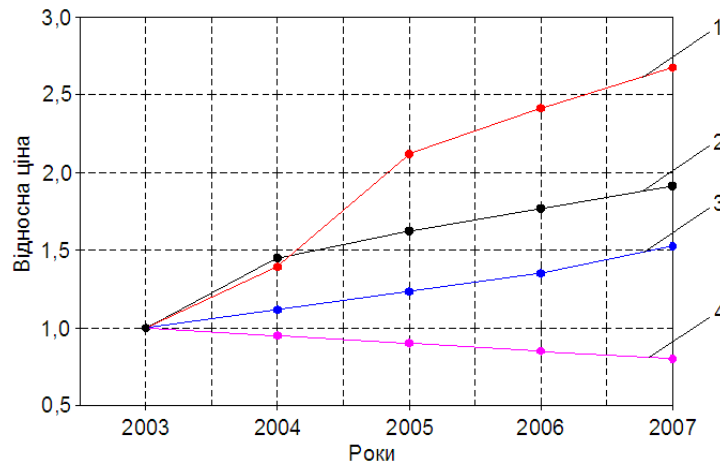


Рис. 2 – Індекс зміни цін на електротехнічні матеріали та силові перетворювальні пристрої: 1 – обмотковий провід; 2 – електротехнічна сталь; 3 – алюміній; 4 – перетворювачі частоти.

Кардинально умовам енергоресурсозбереження відповідають безкорпусні, в тому числі «закриті» конструкції АД (рис. 3), які забезпечують маловідходне розкroєння ЕТС та вилучення з технологічного процесу шкідливого ливарного виробництва станин [10].

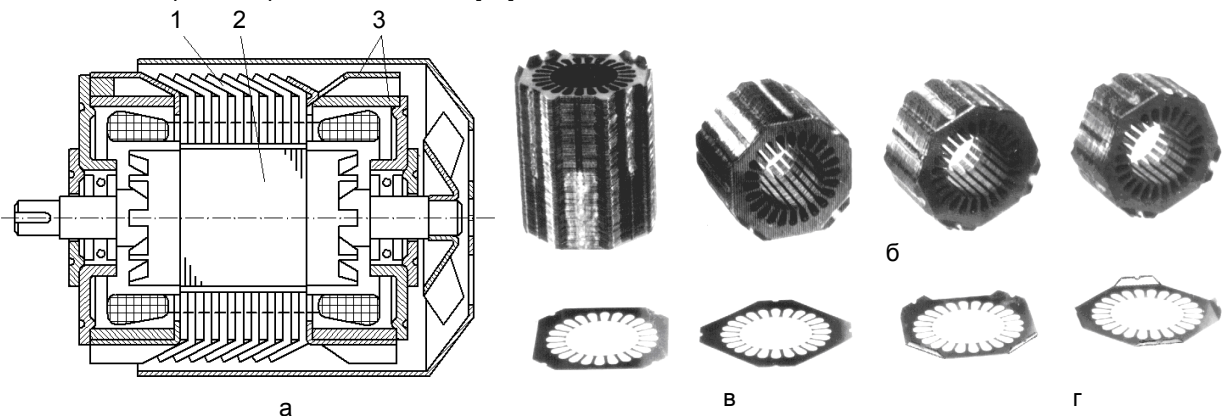


Рис. 3 – Конструктивна схема закритого безкорпусного асинхронного двигуна (а) з магнітопроводом статора (б), плоскі заготовки (в) і елементарні шари (г) електротехнічної сталі просторової структури: 1 – статор; 2 – ротор; 3 – опорно-стяжний елемент.

Задачі удосконалення трансформаторів і реакторів. Конструктивні і структурні схеми більшості планарних і просторових ЕМС, що застосовуються у виробництві трансформаторів і реакторів (дроселів) характеризуються прямокутними і криволінійними (рис. 4, а, б) утворюючими контурами (УК) стрижнів і обмоткових вікон. Максимальне застосування у виробництві індукційних статичних пристроїв (ІСП) з вказаними УК отримала планарна ЕМС (рис. 4, а) [9–13].

Деяке зниження втрат в магнітопроводі і зниження матеріалоемності трансформаторів і реакторів потужністю до 1000 кВ·А досягнуто в другій половині ХХ століття застосуванням замість ізотропної листової анізотропної рулонної ЕТС, а також просторових ЕМС з витими і комбінованими (виті ярма, шихтовані стрижні) магнітопроводами [8, 9]. Однак реалізовані практично просторові ЕМС, як і планарні аналоги, розроблені на основі «традиційних УК» (рис. 4, а, б), що знижує їх ефективність.

В останні десятиріччя використовувались залишкові «резерви» удосконалення статичних ЕМС з УК (рис. 4, а, б) і новітні досягнення електроматеріалознавства. В шихтованих планарних магнітопроводах виконана, незважаючи на значні ускладнення технології, заміна «прямих» стиків на «косі» стики [9–12]. При виготовленні сучасних трансформаторів потужністю до 2500 кВ·А, з метою забезпечення підвищення захисту від зовнішнього середовища, електродинамічної стійкості і енергетичної ефективності, застосовуються «вакуумна» і «ровингова» технології капсулювання витків і котушок обмоток [12, 13]. Для можливості заміни «звичайних»

створені транспоновані і стрічкові обмоткові провідники. Здійснюється переведення виробництва магнітопроводів трансформаторів потужністю до 2500 кВ.А на стрічкову аморфну (нано-кристалічну) ЕТС [13]. У близькому майбутньому прогрес в розвитку ІСП планується досягнути також використанням кріогенної техніки та спеціальних обмоткових матеріалів, зокрема в трансформаторах з високотемпературними композитними надпровідниковими обмотками, елегазової, а також застосуванням кабельної і гібридної ізоляцією [14].

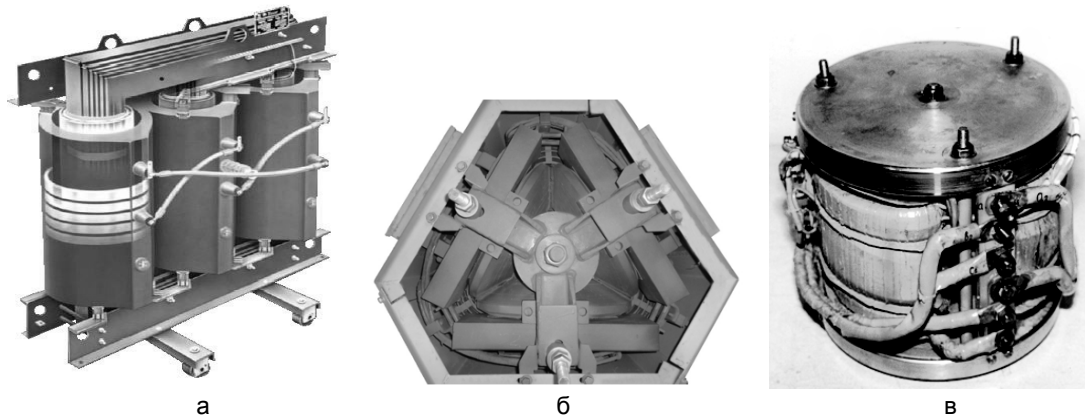


Рис. 4 – Варіанти трифазного трансформатора з аксіальними електромагнітними системами та шихтованим планарним (а), витим трисекційним (б) і комбінованим стиковим (в) магнітопроводами

Крім виробництва ефективних розподільчих ІСП існує необхідність розробки і удосконалення компактних і маломагнітних «нетрадиційних» конструкцій трансформаторів (рис. 4, в), в тому числі таких, що призначені для вбудовування в циліндричні і сферичні оболонки обмеженого діаметру [8].

Важливою сучасною санітарною, технічною і спеціальною вимогою, що пред'являється до електрообладнання, є електромагнітна сумісність, зокрема рівень зовнішнього магнітного поля (ЗМП) [8]. Циліндричні і планарні структури обертових ЕМ, ТТ і трифазних реакторів (ТР) умовам практичного мінімуму ЗМП не задовольняють. Особливість симетричних аксіальних ЕМС обертових і статичних перетворювачів [9, 10] – теоретичний мінімум (нуль) підсумкового «магнітного моменту». Тому удосконалення і розробку, наприклад ТТ, який одночасно задовольняє умови максимальної компактності і маломагнітності без пристроїв магнітної компенсації, можна забезпечити використанням тільки аксіальних просторових ЕМС (рис. 4, в) [8].

Класичні та нетрадиційні способи вдосконалення електромеханічних пристроїв і агрегатів. Електромеханіка – фундаментальна наука [15] з більш ніж 170-річною історією розвитку, удосконалення і поступового розширення структурного і видового складу електричних генераторів, двигунів і трансформаторів і відповідно електротехнічних систем і комплексів.

У зв'язку з особливою важливістю і актуальністю постановки і рішення задач подальшого розвитку, уявляється доцільним позначення і систематизація способів підвищення технічного рівня пристроїв електромеханіки.

Існують два традиційні і чотири нові способи підвищення технічного рівня ЕМ, електротехнічних комплексів і електромеханічних агрегатів.

Перший спосіб передбачає удосконалення електромеханічних пристроїв на основі використання нових магнітних і ізоляційних електротехнічних матеріалів зниженням втрат неробочого руху і величин ізоляційних проміжків, а також підвищенням стійкості ізоляційних оболонок обмоткових проводів, секцій і котушок обмоток термічним і механіко-технологічним впливам [4, 7, 11–14].

Другий спосіб ґрунтується на постійному удосконаленні методів розрахунку і оптимізації [9, 10].

Вказані два способи були кардинальними на протязі ХХ століття і дозволили багатократно знизити питому матеріалоемність ЕМ і апаратів. Вказану зміну характеризує рис. 5 [16]. Після досягнутого мінімуму габаритні і масовартісні показники виконань АД з підвищеним ККД почали, як уже згадувалось, зростати, наприклад відносно серій АИ [7]. При цьому до кінця минулого сторіччя виникла ситуація відносної стабільності властивостей ЕТС і ізоляції та має можливим лише деяке енергозбереження на основі застосування в магнітопроводах ІСП, наприклад монокристалічної та аморфної ЕТС [11–14]. В частині матеріалу обмоток АД потужністю до 250 кВ.А альтернатива використанню ізотропної ЕТС, міді і алюмінію відсутня, вельми актуальними є питання їх економії і ефективної утилізації.

За останні десятиріччя забезпечено розширення границь і можливостей багатокритеріальної оптимізації на основі безперервного розвитку методів і засобів автоматизованого проектування. Однак застосування сучасних досягнень прикладної математики та програмування в практичних розрахунках не може суттєво вплинути на покращення досягнутих ПТР ЕМ і трансформаторів традиційних структур і конструкцій.

У другій половині ХХ століття еволюції пристроїв електромеханіки сприяло удосконалення енергетичних установок транспортних засобів, розвиток теорії і практики систем автоматики, обчислювальної техніки, авіації і космонавтики, а також електронних систем. Це стало причиною виникнення певних напрямків удоскона-

лення електромеханічних пристроїв і іншими способами. Згідно третього способу, зниження питомої матеріалоемності елементів електрообладнання досягається підвищенням ЕМН і застосуванням технічних рішень, способів та пристроїв інтенсифікації охолодження (форсованого повітряного, рідинного, криогенного) [9]. Четвертий спосіб забезпечує суттєве зниження питомої матеріалоемності індукційних перетворювачів підвищенням частоти струму до 200...400 Гц при числі полюсів $2p \leq 4$ [4, 8]. Однак деякі способи потребують суттєвого ускладнення і підвищення вартості конструкцій за рахунок використання додаткових систем і пристроїв (нетрадиційне охолодження, газові або магнітні підшипники, редуктори) і застосовуються в технічно обґрунтованих випадках [4, 8–10]. П'ятий спосіб базується на системному підході – інтеграції з електронно-напівпровідниковими пристроями функціонування і регулювання, а також елементами конструкцій приводних механізмів [4, 8, 9, 17, 18]. Суміщенням електромеханічних перетворювачів з електронними компонентами здійснюється функціональне і конструктивне об'єднання енергетичних та інформаційних процесів в єдиному пристрої [19]. Особливістю стану електромеханіки нашого часу є конкурування частото-регульованого асинхронного і вентильного безконтактного синхронного електроприводу. Вентильні (безконтактні) двигуни постійного струму відрізняються підвищеною керованістю, швидкодією, прецизійністю та іншими якостями. Суміщенням ЕМ з механізмом виключаються проміжкові конструктивні і кінематичні ланки. Це дозволяє зменшити витрати на виготовлення, покращити масогабаритні показники та підвищити продуктивність і ККД електричних механізмів та комплексів обладнання. Одним з шляхів підвищення технічного рівня електромеханічних механізмів і агрегатів, як вже вказувалось, є застосування АД з підвищеною конструктивною пристосованістю (з зовнішнім ротором і аксіальних) [8, 10] в певних технічних пристроях.

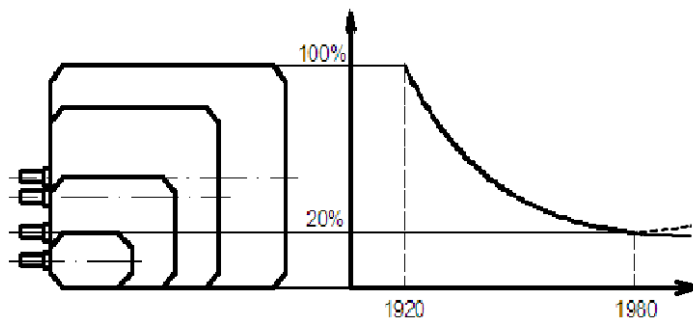


Рис. 5 – Зміна масогабаритних показників асинхронного двигуна в минулому столітті

Іншим можливим прикладом системного підходу і використання принципу просторової симетрії є підвищення ККД та зниження маси і вартості обладнання охолодження з примусовою циркуляцією рідинного або газового холодоагенту в баку і каналах охолодження ЕМС ТТ або ТР (рис. 6) [9].

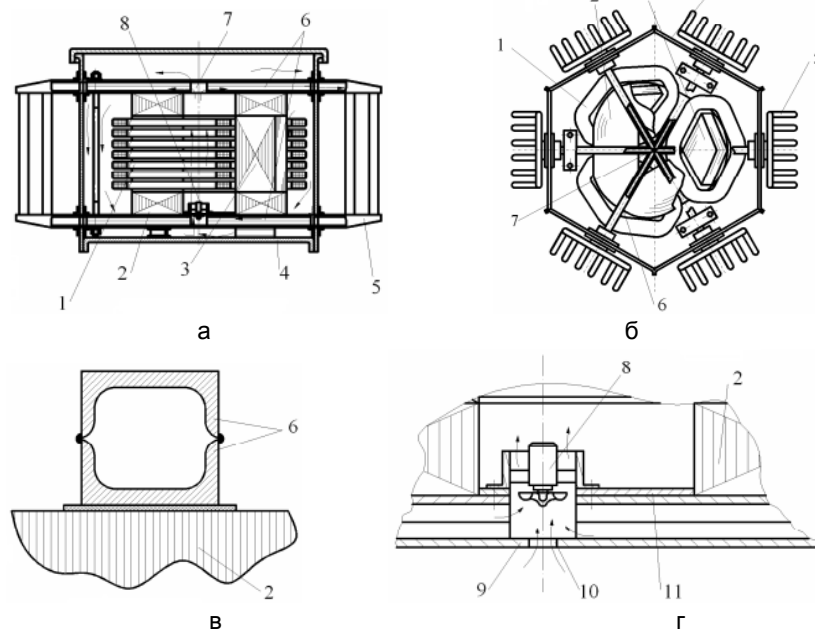


Рис. 6 – Конструктивна схема трифазного трансформатора з аксіальною просторовою електромагнітною системою і обладнанням примусового охолодження: 1 – обмотка; 2 – ярмо; 3 – стрижень; 4 – бак; 5 – радіатор; 6 – яремна балка-холодоагентопровід; 7 – верхній колектор холодагенту; 8 – електронасос; 9 – нижній колектор холодагенту; 10 – отвір входу холодагенту; 11 – перегородка.

Традиційні планарні ЕМС ТТ відрізняються суттєвою нерівномірністю розподілу теплового поля і гіршими умовами охолодження котушок обмотки на середньому стрижні. Інтенсифікація охолодження потужних трансформаторів і реакторів здійснюється примусовою циркуляцією трансформаторного масла з встановленням в маслопровід кожного радіатора зануреного електронасосу [9].

Варіанти аксіальної просторової ЕМС зі сполученням стрижнів трикутником дозволяють створити симетричну в аксіальному і радіальному напрямках структуру активної і конструктивної частини трифазного індукційного статичного пристрою (рис. 6, а, б). Така структура відрізняється наявністю вільного простору в зонах внутрішніх контурів ярем. Вказані особливості дозволяють інтегрувати з метою енергоресурсозбереження комплексне обладнання примусової циркуляції трансформаторного масла в єдиний занурений електронасос з трубопроводами і масляними колекторами з пресуючих елементів магнітопроводу (рис. 6, в, г). Пресуючі елементи-трубопроводи і колектори можуть бути виконані з швелерів, які зістиковані на вісі ЕМС скошеними кінцівками [9].

Таким чином, шостий спосіб уявляється в пошуку і розробці нетрадиційних рішень активної і конструктивної частин ЕМ. Такий спосіб надає можливість зниження як питомої, так і технологічної матеріалоемності «евристичними» структурно-геометричними перетвореннями, наприклад створенням зовнішнього контуру магнітопроводу статора, що наближається до кола з шарів ЕТС прямокутного розкриття (рис. 3, а, в). Додаткова ефективність підвищення технічного рівня пристроїв і систем електромеханіки утворюється органічним об'єднанням декількох способів удосконалення [8–10].

Висновки. Рішення задач енергоресурсозбереження в процесі безперервного збільшення виробництва і розподілу електроенергії, а також розширення структурного і видового складу електромеханічних пристроїв, потребує значних зусиль електромеханіків і інноваційної підтримки з боку держави. Подальше суттєве зниження матеріаломісткості і підвищення енергетичних показників в рамках сформованих на протязі століття конструктивних виконань обертових і статичних ЕМ традиційними способами не видається можливим. Основним напрямком подальшого розвитку є системний підхід, пошук і розробка нетрадиційних рішень активної і конструктивної частини ЕМ, структурні перетворення і структурна оптимізація їх електромагнітних систем.

Список використаних джерел

1. Клепиков В.Б. О роли электропривода в решении проблемы энергоресурсосбережения в Украине / В.Б. Клепиков, В.Ю. Розов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – №30. – с. 18-21.
2. Закладной А.Н. Энергосбережение средствами промышленного электропривода / А.Н. Закладной, А.Б. Праховник, А.И. Соловей. – К.: «ДИА». – 2001. – 343с.
3. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков: под ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр «Академия». – 2004. – 256с.
4. Гловацкий А.В. Основные направления развития электрических машин и электромеханических систем на их основе / А.В. Гловацкий, Л.П. Кубарев, Л.Н. Макаров // Электротехника. – 2008. – №4. – с. 2-8.
5. Atsumi K. Low voltage three phase induction motors world energy series / K. Atsumi, F. Ishizaki, K. Hattori // Toshiba Review. – 1985. – №152. – p. 11-15.
6. Бан Д. Современное состояние и тенденции повышения КПД электрических машин / Д. Бан, Д. Жарко, С. Мирцевски // Электротехника. – 2012. – №1. – с. 12-21.
7. Унифицированная серия асинхронных двигателей Интерэлектро / Под ред. В.И. Радина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 374с.
8. Ставинский А.А. Особенности назначения и использования специальных электрических машин / А.А. Ставинский // Электротехника и электромеханика. – 2008. – №2. – с. 53-58.
9. Ставинский А.А. Обобщенный метод структурно-параметрического синтеза электромагнитных систем электрических машин и индукционных аппаратов. Ч.1. Результаты анализа вариантов трехфазных электромагнитных систем трансформаторов / А.А. Ставинский, Е.А. Авдеева, О.О. Пальчиков, Р.А. Ставинский // Электричество. – 2017. – №4. – с. 39-49.
10. Ставинский А.А. Обобщенный метод структурно-параметрического синтеза электромагнитных систем электрических машин и индукционных аппаратов. Ч.2. Результаты сравнительного анализа основных вариантов электромагнитной системы асинхронного короткозамкнутого двигателя / А.А. Ставинский, Е.А. Авдеева, О.О. Пальчиков, Р.А. Ставинский // Электричество. – 2017. – №5. – с. 18-27.
11. Лизунов С.Д. Силовые трансформаторы. Справочная книга: под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 616с.
12. Кравченко А. Сухие энергосберегающие трансформаторы / А. Кравченко, В. Метельский // Электрик. Международный электротехнический журнал. – Киев: Радиоаматор, 2013. – №4. – с. 12-15.
13. Кравченко А. Масляные энергосберегающие трансформаторы / А. Кравченко, В. Метельский // Электрик. Международный электротехнический журнал. – Киев: Радиоаматор, 2013. – №5. – с. 14-17.
14. Белкин Г. О первых шагах в реформированной электроэнергетике / Г. Белкин, А. Дробышев, В. Иванкин и др. // Электроцех. – 2008. – №9. – с. 13-16.
15. Копылов И.П. Электромагнитная вселенная / И.П. Копылов. – М.: Изд-во МЭИ, 1995. – 80с.

16. Конохов Н.Н. Анализ концепций развития конструкций крупных взрывозащищенных электродвигателей / Н.Н. Конохов // *Электротехника і електромеханіка*. – 2005. – №1. – с. 47-50.
17. Profumo F. Axial-flux machines drives: a new viable solution for electric cars / F. Profumo, Z. Zhang, A. Tenconi // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. – 1997. – V. 44. – №1. – p. 39-45.
18. Igelspachar J. Analytical description of a single stator axial-flux induction machines with squirrel cage / J. Igelspachar, H.G. Herzog // *XXI Int. Conf. on Electrical Machines (ICEM 2010)*. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 6-8 Sept. – 2010. – p. 1-6.
19. Ткачук В.І. Теорія та синтез вентильних двигунів постійного струму / [В.І. Ткачук, І.Є. Біляковський, О.В. Макачук і др.]. – Львів: ВНУ «Львівська політехніка», 2011. – 288с.

УДК 621.31+621.3.041+621.307

Ставинський А. А., д.т.н.

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв

ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПРИБОРІВ, ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ І КОМПЛЕКСІВ

Постійно зростаючі вимоги до технічного рівня і якості нових розробок об'єктів проектування призводять до необхідності прогнозування показників і адекватних розрахунків характеристик таких об'єктів. При пошуку максимально раціональних варіантів та визначення сполучень, геометричних і фізичних співвідношень, складу елементів та керуючих сигналів, а також інших особливостей нових розробок, використовуються методи оптимального проектування та керування. Це дає можливість детального обґрунтування технічних рішень, що приймаються, без попередньої їх апробації на фізичних об'єктах.

Основу оптимізаційного проектування складає пошук проектних рішень у відповідності з критерієм оптимальності або критерієм стійкості об'єкту і системи.

Оптимальне проектування електричної машини (ЕМ) – досягнення практичної межі удосконалення конкретної структури і будови електромагнітної системи (ЕМС) у відповідності з заданим критерієм та врахуванням конструктивної частини і певних проектних обмежень, що обумовлені технічним завданням (ТЗ) розробки. Оптимальне проектування електромеханічної системи передбачає сумісний розгляд обертової ЕМ і перетворювально – керуючих ланок, а також комплектуючих механізмів, узгоджувальних трансформаторів та інших компонентів. Оптимальне рішення задачі керування електромеханічною системою означає визначення таких параметрів впливу на систему, за якими досягається оптимум критерію керування.

Виконання проектних розрахунків на основі оптимізаційних обчислень є обов'язковим в сучасних умовах і обумовлено необхідністю рішення задач енергоресурсозбереження та конкурентоспроможності нових розробок ЕМ, апаратів, електротехнічних систем та їх контролюючих і керуючих компонентів.

Загальне уявлення оптимізаційного проектування технічних об'єктів і систем. В сучасній діяльності людства виникає безліч задач, якісні і кількісні виконання яких можливе тільки оптимізаційним шляхом. Ефективне розв'язування оптимізаційних технічних та інших задач можливе тільки математичними методами. Для постановки і рішення оптимізаційного питання необхідно сформулювати критерій, тобто визначити якісний показник розглядуваного об'єкту. На основі такого показника можливе визначення оптимальних, а не деяких допустимих раціональних величин (параметрів), що визначають об'єкт проектування. Оптимізація здійснюється варіюванням (перебиранням), з визначенням заданого критерію, можливих варіантів рішення задачі створення об'єкту та визначенням кращого з цих варіантів на основі розрахунку екстремального значення критерію.

Визнане математично уявлення об'єкту (пристрою, системи, процесу або явища), що вивчається і аналізується, має назву математичної моделі (ММ). Математичне уявлення, що визначає залежність критерію оптимізації від оптимізаційних дій називають цільовою функцією (ЦФ). Фактори впливу на ММ і зміну її ЦФ, що надають можливість оптимізації, називають керованими змінними (КЗ) або координатами (параметрами). Сукупність уявлення (опису) елементів об'єкту оптимізації, їх зв'язків і взаємодій у виді ММ, повинна забезпечити відповідність з прийнятою (заданою) адекватністю, тобто погрішністю і точністю (мірою співпадіння) результатів віртуального (чисельного) моделювання та фізичного дослідження (випробування) реального зразка такого об'єкту. Іншими характеристиками ММ є універсальність та економічність. Під універсальністю розуміється можливість застосування для аналізу та адекватного зіставлення будь яких варіантів уявлення реального об'єкту, а також повноту урахування його властивостей. Економічність ММ визначається витратами часу розрахунків і об'єму пам'яті обчислювальних процесів.

Проектування більшості технічних пристроїв і систем, в тому числі ЕМ і електричних комплексів, визнається терміном проектний синтез [1–6]. Проектний синтез визначає процес пошуку варіанту, що задовольняє всі вимоги, які пред'являються до проєктованого об'єкту ТЗ і стандартами. Визначення оптимального варіанту об'єкту досягається оптимізаційним проектним синтезом, який поділяється на структурний, параметричний і структурно-параметричний [4, 5].

Структурний синтез визначається енциклопедичним поняттям структури, яке означає будову, розташування, порядок і сукупність стійких зв'язків об'єкту, що забезпечують його цілісність і тотожність самому собі, тобто збереження основних властивостей при різних зовнішніх і внутрішніх змінах. Структурний синтез певного об'єкту уявляється в пошуку і порівнянні можливих альтернатив і варіантів типів, числа, форм і положень в просторі, а також комбінації і способів зв'язку елементів такого об'єкту між собою. Оптимізаційний структурний синтез передбачає, додатково до пошуку структур, створення ММ, що надають можливість об'єктивного порівняльного аналізу (оптимізаційного зіставлення) розглядуваних структур з метою визначення кращого варіанту об'єкту.

Параметричний синтез заключається в розгляді варіантів об'єкту в рамках заданої структури і визначенні та порівнянні числових значень або співвідношень параметрів, що забезпечують працездатність і рівень характеристик, які задовольняють ТЗ. Оптимізаційним параметричним синтезом за допомогою ЦФ визначаються екстремальні (оптимальні) значення КЗ, що забезпечують кращі показники і характеристики об'єкту оптимізації.

Оптимізаційний структурно-параметричний синтез складається в знаходженні оптимальної структури і екстремальних значень КЗ ЦФ цієї структури, тобто в визначенні глобально-оптимальної структури і глобально-оптимальних значень КЗ. Алгоритм [4] визначення глобально-оптимального рішення спрощено характеризується рис. 1 і містить чотири процедури. Першою є синтез допустимої структури (СДС), яка забезпечує вибір допустимого рішення з будь-якої підобласті усієї області пошуку. Другою процедурою здійснюється зміна кроку локального пошуку (КЛП), якою досягається перехід від одного рішення до другого допустимого рішення, як правило ідентичної структури, однак з покращенням значенням критерію. Під кроком локального пошуку розуміється умовний крок по певному методу та алгоритму пошуку локального екстремуму [5]. Третьою процедурою досягається глобальний пошук (ГП), що керує роботою процедур СДС і КЛП. Четверта процедура – перевірка умов припинення пошуку (ПУПП), яка визначає кінець рішення задачі.

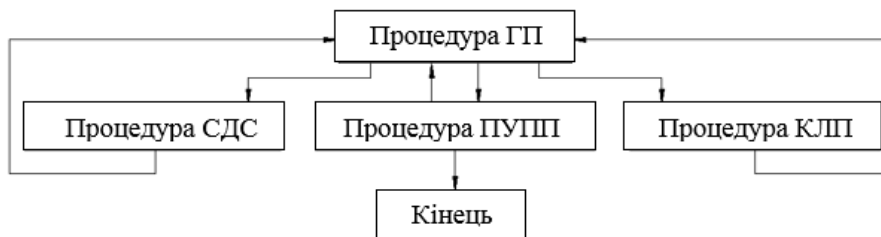


Рис. 1 – Схема алгоритму пошуку глобального екстремуму

Структурний синтез виконується логічним аналізом недоліків наявних аналогів і їх усуненням, зокрема евристичними прийомами. Основним евристичним прийомом є структурне перетворення зміною форм і положень в просторі, а також симетруванням та зміною зв'язків елементів об'єктів [4]. Приклади евристичних структурних перетворень статичних і рухомих ЕМ наведено в [7, 8]. Іншим способом синтезу структур є еволюційний генетичний підхід [9], за яким об'єкт розглядається як особливий клас еволюціонуючих динамічних систем природно – антропогенного походження з власною генетичною будовою і видовою структурою.

Процес оптимізаційного проектного синтезу технічного об'єкту уявляється схемою (рис. 2) і відбувається ітераційно (послідовними наближеннями) з оцінкою і перепроектуванням до тих пір, поки проект не буде відповідати критеріальному екстремуму оптимізації і певним проектним обмеженням. Оптимізаційний синтез виконується в три етапи (рівня схеми, рис. 2). Перший етап уявляється в пошуку і обранні варіантів технічних рішень на рівні задумки (ідеї). Застосовується аналіз науково-технічної інформації, розглядаються бази готових проектних рішень, спеціальні експертні системи. Враховується економічний фактор (прогнозування вартості, термінів виконання). Формується перший вихідний варіант ТЗ з вказівкою показників, які повинні бути забезпечені. Другий та третій етапи уявляють структурний і параметричний синтези. Отримані проектні рішення оцінюються з використанням проектних процедур аналізу екстремумів КЗ. Приймається рішення про вихід з процесу ітерації, або перепроектування з можливою зміною принципу дії деяких елементів (гідропривід, пневмопривід, електропривід) або системи в цілому та зміною ТЗ.

Для рішення задачі структурного синтезу необхідно визначити якість структур кількісними оцінками, які розраховуються при параметричному синтезі. При цьому параметричний синтез виконується тільки для заданої структури. Вихід з протиріччя – об'єднання структурного і параметричного синтезу в єдиному обчислювальному процесі (рис. 1) діалогової системи оптимізаційного проектування.

При неможливості аналітичного забезпечення зв'язку структурного і параметричного синтезів застосовується метод експертних оцінок варіантів структур з призначенням коефіцієнтів значності (переваг) [4, 5], які повинні бути максимально об'єктивними, тобто обґрунтованими вимогами ТЗ.

Постановка задач оптимізаційного проектування і управління функціонуванням електричних машин та електричних комплексів. В сучасному світі технологічна і побутова діяльність людства забезпечується функціональним сполученням електротехнічних та електронних пристроїв в багатокомпонентні елек-

тричні комплекси. Їх головними елементами є рухомі і статичні ЕМ, що виробляють, перетворюють і забезпечують розподіл електроенергії та ЕМ і електричні апарати для управління, вимірювання, контролю стану і захисту. До їх складу також входять сильно та слабострумні перетворювальні і керуючі електронні ланки та інколи деякі елементи з механічним (мультиплікатори), гідравлічним (гідроприводи) та іншими принципами дії. В цілому такі комплекси уявляють складні електромеханотронні системи, оптимальне проектування яких повинно виконуватись з врахуванням як силових, так і управляючих електромеханічних, електронних та інших компонентів.

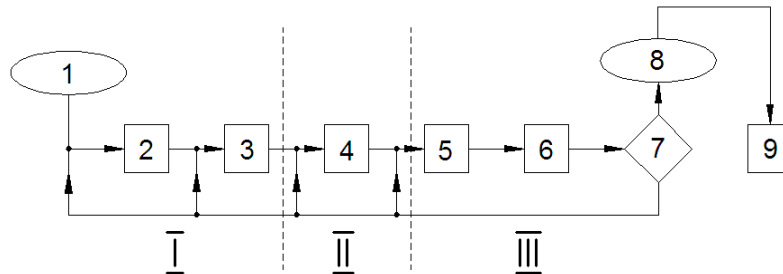


Рис. 2 – Схема оптимізаційного проектування: 1 – початок; 2 – вибір принципів побудови об'єкту проектування; 3 – формування технічного завдання; 4 – структурний синтез; 5 – параметричний синтез; 6 – аналіз ефективності; 7 – перевірка ефективності; 8 – кінець; 9 – реалізація.

При рішенні задачі проектного синтезу будь – якого технічного пристрою або комплексу необхідне рішення трьох завдань: обрання фізичного принципу дії, визначення оптимальної структури при оптимальному принципі дії і знаходження оптимальних співвідношень певних величин і параметрів.

Принцип дії ЕМ обумовлений індукційним і силовим проявленням електромагнітного поля. Оптимальність електромагнітного принципу дії основних та допоміжних електричних елементів електротехнічних комплексів обумовлена попереднім розвитком людства і космічними аналогами фізичного стану всесвіту [14]. Тому принцип дії електромеханічних та інших електричних компонентів комплексів електрообладнання при їх проектному синтезі є досить ефективним і заданим.

В формалізованому виді задача оптимального проектування ЕМ уявляється у визначенні за допомогою ЦФ F_{EM} , що залежить від $k = 1 \dots n$ КЗ $x_1 \dots x_n$ екстремальних значень, $x_{1e} \dots x_{ne}$ цих КЗ і розрахунку на їх основі екстремального значення F_{EME} такої функції. При значеннях $x_{1e} \dots x_{ne}$ ЦФ набуває мінімальне або максимальне значення при певних $k=1 \dots m$ проектних обмеженнях $ПО_{kk}$ [1, 2, 3, 6]:

$$F_{EM} = f(x_1, x_2, \dots, x_n); \quad (1)$$

$$ПО_{1K} = ПО_{1KH}; \quad ПО_{2K} \leq ПО_{2Kmax}; \quad ПО_{3K} \geq ПО_{3Kmin}; \quad k \geq 0,$$

де $ПО_{1KH}$ – нормативне (вимога стандарту) обмеження, наприклад напруга короткого замикання трансформатора; $ПО_{2Kmax}$ і $ПО_{3Kmin}$ – проектні обмеження виконання та призначення ЕМ згідно ТЗ, наприклад максимально допустимі температура обмотки статора і значення номінального ковзання та мінімально допустимі кратності мінімального та пускового моментів асинхронного двигуна (АД).

Електромеханічні пристрої, зокрема ЕМ – складні системи з електромагнітною і електромеханічною взаємодією провідникових електричних і магнітних кіл та енергетичною сукупністю магнітних, теплових і силових механічних полів. Через складності процесів перетворення енергії в статичних і рухомих ЕМ впливає складність їх ММ та складність моделювання електричних комплексів. В деяких методиках загальне рівняння (1) поділяється на систему рівнянь. Загальна ММ з метою спрощення поділяється на сукупність ММ окремих елементів, а оптимізаційна програма поділяється на окремі розрахункові модельні блоки [2, 3, 11]. Також КЗ поділяються на основні (незалежні) та залежні.

Основними КЗ оптимізації трансформаторів і реакторів є геометричні розміри і електромагнітні навантаження (ЕМН). Також застосовуються деякі відносні КЗ [11, 12]. Задачу оптимізаційного структурного синтезу трансформаторів в рамках планарних конструкцій ЕМС можна вважати частково дослідженою. Варіанти таких структур відрізняються числом стрижнів і ярем та типами і числом обмоток. В [12, 13] вказано, що однофазна броньова ЕМС з прямокутними утворюючими контурами (УК) незначно поступається аналогічній стрижневої за питомою потужністю на одиницю маси і об'єму, однак значно краща по конструкції і технології виготовлення. Згідно [13] маси планарних ЕМС однофазних і трифазних трансформаторів з шихтованими магнітопроводами і прямокутними УК на (2...3)% перевищують маси аналогів з витими магнітопроводами. Для оптимізації індукційних статичних пристроїв (ІСП) з прямокутними УК застосовують ЕМН і безрозмірні геометричні КЗ у вигляді відношень боків прямокутних конфігурацій елементів магнітопроводу, що зменшує число КЗ та спрощує ММ. При параметричній оптимізації розподільчих трансформаторів з круговими УК за основні КЗ, згідно з [13], приймаються головні розміри – діаметр кругового УК стрижня, висота і ширина обмоткового вікна та ЕМН

– індукція стрижня та середня густина струму обмоток, а також відношення втрат короткого замикання (ВКЗ) до втрат неробочого руху (ВНР) та відношення вартостей системи обмоток і магнітопроводу [11].

Структура ЕМС класичних АД (КАД), як вже згадувалось, є незмінною близько 130 років і вважається заданою. Тому оптимізаційні розрахунки КАД, як і традиційних конструкцій ІСП практично є параметричними. При цьому відомості про визначення оптимальних геометричних співвідношень ЕМС обернених і аксіальних АД та впливу зміни їх структур відносно КАД на показники і характеристики, тобто оптимізаційне зіставлення варіантів структур АД, до появи робіт [15–18], були невідомими. Загальний перелік координат, варіації яких передбачені в ММ параметричної оптимізації в двоклітковій модифікації КАД уявляє 16 величин. При застосуванні в роторі звичайної короткозамкнутої обмотки число КЗ – 12 [1–3]. Основними КЗ, згідно [1–3], є внутрішній діаметр і довжина осердя та індукція в робочому зазорі, інколи число витків фази або число ефективних провідників в пазу обмотки статора. Параметрична оптимізація КАД додатково ускладнена, а її якість погіршена виконанням на єдиній геометрії поперечного перерізу магнітопроводу декількох довжин і потужностей. Основною вважається друга довжина. При розрахунках КАД інших довжин варіюється тільки активна довжина і індукція зазору. При проектуванні модифікацій на основі головного виконання КАД додатковою КЗ може бути потужність. Для зменшення діапазону зміни та числа КЗ деякі з них задаються у відносних значеннях, наприклад відношення зовнішнього і внутрішнього діаметрів осердя статора [1, 3].

Критеріями оптимізації ЕМ спеціального призначення (підводно-технічного, авіаційно-космічного, переносних електроінструментів) [6–8] є окремі критерії мінімуму маси, контурного об'єму або зовнішнього діаметру ЕМС, а також мінімуму втрат активної потужності (максимуму ККД). Критеріями оптимізації силових трансформаторів і загальнопромислових КАД є мінімуми вартості або приведених витрат на виробництво і експлуатацію [1–3, 6–8]. При постійній зміні цін матеріалів і комплектуючих, сучасною альтернативою приведеної вартості, яка враховує ціну ЕМ, експлуатаційні витрати і капітальні вкладення, що обумовлені функціонуванням ЕМ, є інтегральний критерій «капіталізованої вартості» [19]. Цей критерій враховує часову інфляцію грошової маси та зміну цін.

Повна ЦФ капіталізованої вартості, наприклад ТТ, складається з підсумку вартості установки трансформатора (включаючи його ціну) B_{TT} і капіталізованих вартостей втрат, що відрізняються від ВНР $P_{НР}$ і ВКЗ $P_{КЗ}$ коефіцієнтами $K_{ВНР}$ і $K_{ВКЗ}$,

$$F_{ВТТ} = B_{ТТ} + K_{ВНР}P_{НР} + K_{ВКЗ}P_{КЗ}, \quad (2)$$

де $K_{ВНР}$ і $K_{ВКЗ}$ – питомі капіталізовані вартості ВНР і ВКЗ [19].

Нормативний час окупності обортових ЕМ і ІСП складає (5...10) років, а енергетична складова в декілька раз перевищує складову, що пов'язана з капітальними витратами. Тому основне значення має підвищення і оптимізація енергетичної складової елементів і систем електрообладнання [4]. У зв'язку з виробництвом і вимогами нового проектування енергоефективних серій КАД, трансформаторів і реакторів зростає значність окремого критерію оптимізації – максимуму ККД [20].

Основною вимогою проектування сучасних електричних комплексів є застосування енергозберігаючого обладнання. Такі об'єкти уявляються комплексними ММ, які включають в себе окремі ММ всіх компонентів і ланок. При оптимізації електричного комплексу аналогом (2) є інтегральний критерій витрат, який враховує інфляцію. Наприклад для частотно-регульованого асинхронного електроприводу, в якому інвертор забезпечує коефіцієнт потужності АД, що наближається до 1, застосовується ЦФ [21]

$$F_{ЕП} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{B_{enl}}{K_{zei}} + \sum_{i=1}^{i=n} B_{enl} (K_{ati} + K_{obi}) K_{inf} + \sum_{i=1}^{i=n} B_{ai} K_{inf}, \quad (3)$$

де B_{ani} – вартість кожного $i = (1...n)$ елементу електроприводу; K_{zei} , K_{ati} , K_{obi} – відповідно коефіцієнт значності експлуатації, амортизаційних відрахувань і обслуговування i – елементу; B_{ai} – вартість втрат активної енергії i – елементу; K_{inf} – коефіцієнт інфляції, що залежить від нормативного строку окупності T_H (в роках) при k роках експлуатації електроприводу і показнику інфляції за рік $\Pi_{inf.p}$ (в %),

$$K_{inf} = \left[\sum_{k=0}^{T_H-1} (1 + \Pi_{inf.p}/100\%)^k \right] / T_H.$$

Оптимізацію спеціальних виконань АД для регульованого електроприводу доцільно виконувати з проектним критерієм максимуму ККД в заданому діапазоні зміни частот обертання [21].

В деяких випадках проектування, зокрема електромеханічної системи, критерій оптимізації визначається декількома показниками. Пошук компромісного рішення за декількома критеріями називається багатокритеріальною оптимізацією. Застосовуються ЦФ узагальненого критерію, що уявляє скалярну згортку декількох критеріїв з різними коефіцієнтами значності (експертної оцінки) [4, 5].

Завданням будь-якого керування є реалізація впливу на регульовану систему (об'єкт керування) керуючих сигналів. Під об'єктом керування (рис. 3) розуміється, наприклад електромеханічна система, яка в загальному випадку містить пристрій керування (ПК) і об'єкт керування (ОК), що пов'язані з зовнішнім середовищем і між собою. Стан системи (рис. 3) в кожний момент часу t визначається в діапазоні часу T , вектор функцією [6, 22]

$$\bar{x}(t) = (\bar{x}_1(t), \bar{x}_2(t), \dots, \bar{x}_a(t)); \quad 0 \leq t \leq T. \quad (4)$$

Компоненти $\bar{x}_i(t)$, $i = 1 \dots a$, що визначають стан системи, називаються фазовими КЗ об'єкту керування. З зовнішнього середовища на систему діють задавальні вхідні сигнали керування $\bar{U}_i$, ($i = 1 \dots b$) і збурюючі впливи $\bar{V}_i$, ($i = 1 \dots c$). Вихідними величинами системи є спостереження $\bar{y}_i$, ($i = 1 \dots d$), що контролюються зворотними зв'язками (спостерігачами), сигнали з яких поступають на ПК.

Заданий вплив КЗ $x_1 \dots x_a$ містить інформацію про мету керування. Множини всіх значень компонентів, які мають вектори $\bar{x}_i$, $\bar{U}_i$, $\bar{V}_i$ та $\bar{y}_i$ утворюють відповідно простір стану, простір керування, простір збурень та простір спостережень. Керуючі впливи $\bar{x}_i$ у загальному випадку залежать від $\bar{U}_i$, $\bar{y}_i$ і $\bar{V}_i$ та алгоритму керування в виді функції

$$\bar{x}_i = f_x(U_i, V_i, y_i).$$

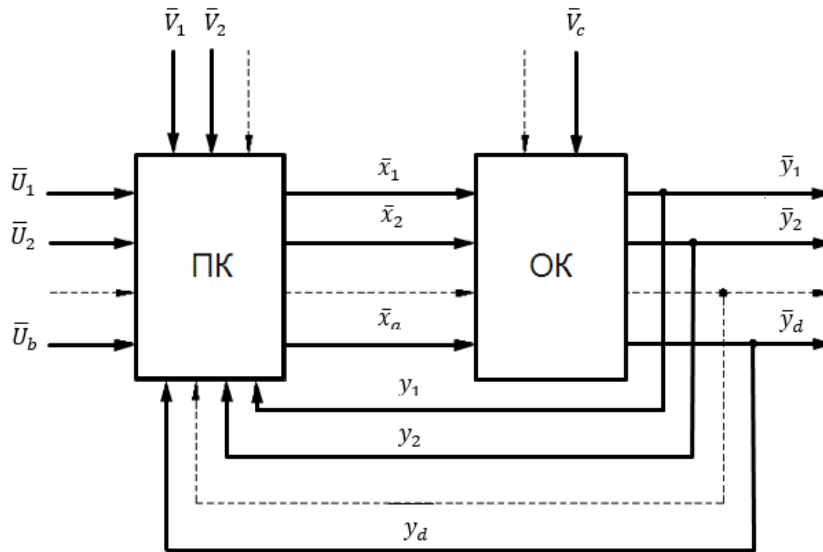


Рис. 3 – Узагальнена схема об'єкту керування

Зміна стану об'єкту керування в часі визначається системою рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dx_1(t)}{dt} = f_1[x_1(t), x_2(t), \dots, x_a(t), U_1(t), U_2(t), \dots, U_b(t), t] \\ \frac{dx_2(t)}{dt} = f_2[x_1(t), x_2(t), \dots, x_a(t), U_1(t), U_2(t), \dots, U_b(t), t] \\ \vdots \\ \frac{dx_a(t)}{dt} = f_a[x_1(t), x_2(t), \dots, x_a(t), U_1(t), U_2(t), \dots, U_b(t), t] \end{cases} \quad (5)$$

або у векторній формі

$$d\bar{x}_i(t)/dt = f_i[\bar{x}_i(t), \bar{U}_i(t), t],$$

де $\bar{x}_{(i=1 \dots a)}(t)$ і $\bar{U}_{(i=1 \dots b)}(t)$ – відповідно a – вимірний вектор стану, що визначає стан системи і b – вимірний керуючий вектор.

При рішенні оптимізаційних задач керування на систему (5) накладається сукупність обмежень та граничних умов:

$$\bar{x}_i(t) \in \bar{x}_t; \quad \bar{U}_i(t) \in \bar{U}_t,$$

де $\bar{x}_t$ і $\bar{U}_t$ – деякі задані множини, що характеризують особливості функціонування об'єкту керування (рис. 3).

Критерієм оптимальності (показником якості) керування є у більшості випадків [6, 22] інтегральна ЦФ об'єкту керування (електромеханічною системою) в діапазоні t на відрізку $[0, T]$

$$F_{\text{ЕМС}}(U) = \int_0^T \Phi[x(t), U(t)] dt. \quad (6)$$

Оптимальному керуванню відповідає визначення сукупності екстремальних допустимих сигналів U_{te} при яких досягається екстремальне значення $F_{\text{ЕМС}} \rightarrow F_{\text{ЕМС} \max(\min)}$. Критерієм керування є мінімум t або максимум

корисності, мінімум втрат та інші. Сигналами і КЗ керування, в залежності від призначення та особливостей системи, є напруга, струм, момент, частота струму (обертання), потужність та інші [6, 21, 22].

В системній електромеханіці, тобто при рішенні задач проектного синтезу електромеханічних систем (електротехнічних комплексів), головним завданням є забезпечення умов системного проектування за вартісно-енергетичними складовими (1) – (3). Розробка комплектуючих елементів та систем управління є компетенцією фахівців з систем керування. Однак врахування особливостей таких систем та забезпечення процесів оптимального керування (5), (6) є важливою складовою системного проектування, що забезпечується електромеханіками (електротехніками).

Висновок. Підвищення технічного рівня об'єктів і систем (комплексів) електромеханіки, електротехніки та електроенергетики можливо шляхом рішення комплексного триєдиного системного завдання удосконалення електромеханічних комплектуючих (генераторів, трансформаторів, двигунів), електричних силових, захисних і регулюючих (реле, контактори, датчики, ...) і комплектних (автоматичні регулятори збудження та синхронізатори, фільтрокомпенсуючі пристрої, ...) апаратів та силових напівпровідникових перетворювачів застосуванням системного структурно-параметричного синтезу їх сполучень з врахуванням сучасних електронних мікропроцесорних та інших засобів керування.

Список використаних джерел

1. Домбровский В.В. Асинхронные машины: Теория, расчет, элементы проектирования / В.В. Домбровский, В.М. Зайчик. – Л.: Энергоатомиздат. -Ленинград., – 1990. – 368 с.
2. Бойко Е.П. Асинхронные двигатели общего назначения / Е.П. Бойко, Ю.В. Гаинцев, Ю.М. Ковалев и др.; Под ред. В.М. Петрова и А.Э. Кравчика. – М.: Энергия, 1980. – 488с.
3. Унифицированная серия асинхронных двигателей Интерэлектро / Под ред. В.И. Радина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 374с.
4. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: Учеб. Пособие для студентов вузов / А.И. Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368с.
5. Андронов С.А. Методы оптимального проектирования: Текст лекций / С.А. Андреев. – СПб ГУАП. СПб., 2001. – 169с.
6. Розенкноп В.Д. Вариационное проектирование электротехнических изделий: Обзорная информация. Серия ТС-30. Экономико-математическое моделирование / В.Д. Розенкноп, В.И. Геминтерн, В.Э. Темкин. – М.: Информэлектро, 1982. – 71с.
7. Ставинский А.А. Обобщенный метод структурно-параметрического синтеза электромагнитных систем электрических машин и индукционных аппаратов. Ч.1. Результаты анализа вариантов трехфазных электромагнитных систем трансформаторов / А.А. Ставинский, Е.А. Авдеева, О.О. Пальчиков, Р.А. Ставинский // Электричество. – 2017. – №4. – с. 39-49.
8. Ставинский А.А. Обобщенный метод структурно-параметрического синтеза электромагнитных систем электрических машин и индукционных аппаратов. Ч.2. Результаты сравнительного анализа основных вариантов электромагнитной системы асинхронного короткозамкнутого двигателя / А.А. Ставинский, Е.А. Авдеева, О.О. Пальчиков, Р.А. Ставинский // Электричество. – 2017. – №5. – с. 18-27.
9. Шинкаренко В.Ф. Основы теорії еволюції електромеханічних систем / В.Ф. Шинкаренко. – К.: Наукова думка, 2002. – 288с.
10. Копылов И.П. Электромагнитная вселенная / И.П. Копылов. – М.: Изд-во МЭИ, 1995. – 80с.
11. Пуйло Г.В. Подсистема автоматизированного синтеза силовых трансформаторов со слоевыми обмотками / Г.В. Пуйло, Д.М. Левин, Е.В. Трищенко // Електротехніка і електромеханіка. – 2004. – №1. – с. 86-97.
12. Белопольский И.И. Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности: Учебное пособие / И.И. Белопольский, Е.И. Каретникова, Л.Г. Пикалова. -М.: Альянс, 2013. – 400с.
13. Макарова А.В. Оптимальное соотношение размеров трансформаторов с магнитопроводом прямоугольного сечения / Електротехніка. – 1988. – №7. – с. 2-6.
14. Копылов И.П. Электромагнитная вселенная / И.П. Копылов. – М.: Изд-во МЭИ, 1995. – 80 с.
15. Ставинский А.А. Использование метода относительных коэффициентов показателей технического уровня в решении задач оптимизации асинхронных двигателей / А.А. Ставинский, О.О. Пальчиков // Електротехніка і електромеханіка. – 2014. – №5. – с. 37-44.
16. Ставинский А.А. Целевые функции сравнительного анализа энергетической эффективности электромагнитных систем асинхронных двигателей с внутренними и внешними роторами / А.А. Ставинский, О.О. Пальчиков // Електротехніка і електромеханіка. – 2015. – №1. – с. 41-45.
17. Ставинский А.А. Сравнительный анализ массосстоимостных показателей асинхронных двигателей с цилиндрическим и аксиальным рабочим зазором / А.А. Ставинский, О.О. Пальчиков // Електротехніка і електромеханіка. – 2015. – №3. – с. 20-26.
18. Ставинский А.А. Сравнительный анализ потерь активной мощности асинхронных двигателей с цилиндрическим и аксиальным рабочим зазором / А.А. Ставинский, О.О. Пальчиков // Електротехніка і електромеханіка. – 2015. – №5. – с. 31-35.

19. Лизунов С.Д. Силовые трансформаторы. Справочная книга: под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 616с.
20. Мельникова Е.В. Энергосбережение в Европе: применение энергоэффективных трансформаторов / Е.В. Мельникова // Энергосбережение. – 2004. – №1. – с. 61-66.
21. Петрушин В.С. Использование многокритериальной оптимизации при проектировании регулируемых асинхронных двигателей / В.С. Петрушин, Р.Н. Еноктаев // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії. -Х.: НТУ «ХПІ». – 2016. – №11(1183). – с. 11-14.
22. Хлопенко М.Я. Оптимальное управление объектами: Навчальний посібник / М.Я. Хлопенко, І.С. Білюк, В.В. Шевченко. – Миколаїв: НУК, 2003. – 172с.

УДК 621.3.041

Ставинський А. А.¹, д.т.н., Авдєєва О. А.², к.т.н., Ставинський Р. А.², к.т.н., Садовий О. С.¹, Циганов А. М.¹

¹Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв

²Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

АНАЛІЗ ЦІЛЮВИХ ФУНКЦІЙ І КЕРОВАНИХ ЗМІННИХ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ РОЗРАХУНКІВ ТРАНСФОРМАТОРІВ І РЕАКТОРІВ

Масовартісні і енергетичні показники індукційних статичних пристроїв (ІСП), крім якості застосованої електротехнічної сталі (ЕТС) та ізоляції, в першу чергу залежать від структурних особливостей і геометричних співвідношень елементів електромагнітних систем (ЕМС) та співвідношень і величин електромагнітних навантажень (ЕМН) та відповідно способів і засобів охолодження. Максимально раціональне, тобто оптимальне поєднання геометричних співвідношень і ЕМН досягається проектними оптимізаційними розрахунками шляхом знаходження екстремуму цільової функції (ЦФ) за заданим критерієм.

При заданій структурі ЕМС оптимізаційні розрахунки обмежені параметричним синтезом ІСП при певних проектних обмеженнях. Задачі удосконалення статичних ЕМС в рамках традиційних структур і утворюючих контурів (УК) на основі застосування покращених електроматеріалів і оптимізаційного параметричного синтезу практичного вирішені [1 – 4]. Тому виникла необхідність подальшого розвитку ІСП інноваційним шляхом та застосуванням структурно-параметричного синтезу ЕМС [4 – 6].

В оптимізаційних розрахунках ІСП малої потужності і спеціального призначення застосовуються ЦФ окремих критеріїв оптимізації – мінімумів маси, втрат активної потужності і контурного об'єму [5 – 8]. Проектування трансформаторів і реакторів розподільчого призначення виконується з застосуванням ЦФ критеріїв мінімуму вартості і мінімуму загальних витрат на виробництво і експлуатацію [9 – 11]. Сучасними аналогами загальних витрат при постійній зміні вартості матеріалів і електроенергії є ЦФ повної капіталізованої вартості [12].

Капіталізована вартість $C_{KT(p)}$ трансформатора (реактора) є підсумком вартості ІСП (включає вартість експлуатації і монтажу), вартості втрат неробочого руху (ВНР) або магнітопровода $P_{X(M)}$ та вартості втрат короткого замикання (ВКЗ) або обмотки $P_{K(O)}$ [12, 13]

$$C_{KT(p)} = C_{T(p)} + K_{X(M)} P_{X(M)} + K_{K(O)} P_{K(O)}, \quad (1)$$

де $K_{X(M)}$ і $K_{K(O)}$ – питомі капіталізовані вартості ВНР (магнітопровода) і ВКЗ (обмотки).

Основними керованими змінними (КЗ) математичних моделей (ММ) ІСП є геометричні розміри і ЕМН. Параметрична оптимізація ІСП з круговими УК здійснюється з використанням відомих незалежних КЗ у виді головних розмірів діаметра (радіуса) кругового УК стрижня, висоти і ширини обмоткового вікна і ЕМН – амплітуди індукції стрижня B_c і середньої щільності струму обмоток J_0 [9, 10 – 12]. Параметрична оптимізація ІСП з прямокутними УК виконується за допомогою незалежних КЗ – числа витків і елементів геометрії стрижнів і ярем, а також ЕМН [13 – 14]. Також на додаток до ЕМН застосовуються безрозмірні основні КЗ – відношення ВНР і ВКЗ, а також відношення вартості системи обмоток і магнітопровода [15]. При цьому, згідно [16], залежними КЗ стають основні розміри ЕМС – діаметр стрижня, висота та ширина обмоткового вікна. Крім того для оптимізації ЕМС з прямокутними УК замість головних розмірів застосовуються безрозмірні геометричні КЗ – відношення відповідно довжини перерізу стрижня, висоти і ширини обмоткового вікна до ширини перерізу стрижня, що згідно [7, 8] спрощує ММ.

З особливостей процесу електромагнітного перетворення енергії впливає складність моделювання і оптимізації ІСП. У більшості методик загальна ММ ІСП поділяється, з метою спрощення, на сукупність ММ окремих елементів ЕМС і систему рівнянь. У відповідності до рівнянь ММ окремих елементів оптимізації комп'ютерні програми поділяються на окремі модельні блоки [10, 11, 15, 16]. Пошук екстремумів ЦФ виконується за допомогою алгоритмів, що розроблені з використанням відомих чисельних методів [17].

Крім виконання завдань продовження ресурсу і модернізації в умовах практичної межі удосконалення електроматеріалів, жорсткої конкуренції і сучасних вимог енергоресурсозбереження, виникає необхідність рішення задач подальшого розвитку ІСП нетрадиційними системними і евристичними способами, зокрема структурно-геометричним перетворенням елементів ЕМС [4 – 6].

При структурній стабільності варіантів ЕМС з традиційними УК у минулому столітті, а також їх конструктивної незмінності на протязі останніх десятиріч та впливу фактора "технологічного консерватизму", доцільність нових розробок і практичного використання нетрадиційних пропозицій ЕМС повинна бути доказана об'єктивним аналітичним обґрунтуванням на основі ЦФ узагальненого структурно-параметричного синтезу ІСП.

Відомі ММ з ЦФ, що містять вказані вище геометричні КЗ визначаються конкретними конфігураціями елементів ЕМС, а величини ЕМН залежать від виконання і вимог технічного завдання на розробку ІСП. Традиційні УК (діаметр, розміри обмоткового вікна і співвідношення боків перерізів стрижнів), що відображають індивідуальні структурно-геометричні особливості, не задовольняють умови універсальності використання. Це затрудняє об'єктивне зіставлення варіантів ЕМС. Також оптимізаційний процес з варіюванням ЕМН прив'язаний до конкретного виконання і способу охолодження ІСП.

Обрання певної структури ЕМС відноситься до задачі структурного синтезу [17]. Для рішення подібних задач необхідна оцінка якості варіантів структур, яка може бути виконана на основі параметричного синтезу об'єкту оптимізації. Однак параметричний синтез є можливим тільки при заданій структурі такого об'єкту. Тому два види синтезу повинні здійснюватись в єдиному обчислювальному процесі. Об'єднання структурного і параметричного синтезу нової розробки технічного об'єкту досягається, згідно [14], методом експертної оцінки шляхом визначення коефіцієнтів їх переваг (ваги). При цьому оптимізовані за одним з критеріїв і відомими методиками співвідношення ЕМН і геометричних параметрів конкретної ЕМС не є узагальненими та універсальними, тому що відповідають заданим виконанням, потужності і способу охолодження ІСП. У випадку застосування критерію з ваговими коефіцієнтами (оптимізаційна методика [14]), їх значення можуть бути суб'єктивними, що додатково затрудняє узагальнений порівняльний аналіз ЕМС.

Методика побудови узагальнених оптимізаційних ММ структурного синтезу повинна забезпечувати співставлення варіантів ЕМС при додержанні принципу електромагнітної еквівалентності, тобто ідентичності електромагнітної потужності [18 – 21] і інваріантності (універсальності) виду ЦФ та основних КЗ. Універсальними є КЗ, що прийнятні і ідентичні для варіантів структур і конструкцій ЕМС, що порівнюються, та будь-яких інших можливих нетрадиційних пропозицій ЕМС. Однак такий принцип знаходиться у протиріччі з процесом параметричного синтезу ЕМС, який передбачає оптимізаційне варіювання щільності струму та індукції, а також проектних обмежень, зокрема контроль нагріву обмоток. В свою чергу варіювання ЕМН при параметричній оптимізації протиречить рішення задачі узагальненого структурного синтезу ЕМС [17, 21]. Протиріччя обумовлено прив'язкою діапазону змін ЕМН до конкретних виконань, потужності і способу відводу тепла від активної частини. Тому для усунення вказаних протиріч і вилучення залежності оптимізаційного процесу від потужності, величин ЕМН і особливостей систем охолодження, основні КЗ і окремі критерії оптимізації повинні бути подані у відносному та безрозмірному видах.

Викладеним умовам електромагнітної еквівалентності і інваріантності зіставлення будь яких $i\bar{i}$ – варіантів ЕМС задовольняє універсальна ЦФ окремих критеріїв оптимізації обертових і статичних перетворювачів, а також реакторів [5, 6], вперше запропонована в [22]

$$F_{\text{ІСП}(p)} = \left(\sqrt[4]{\Pi_{\text{ІСП}}} \right)^3 K_i \Pi_{1i}^*, \quad (2)$$

де $\Pi_{\text{ІСП}}$ – показник вихідних даних технічного завдання на проектування і ЕМН ІСП; K_i – складова питомих характеристик застосованих активних матеріалів; Π_{1i} – одна з безрозмірних складових, що характеризує $i \geq 3$ ЦФ i – й ЕМС, з яких головними є складова маси Π_{1i}^* ($i=1$), складова вартості Π_{2i}^* ($i=2$) і складова втрат активної потужності Π_{3i}^* ($i=3$).

Екстремуми (мінімуми) $\Pi_{i\bar{i}}^*$ безрозмірних складових (2) є показниками технічного рівня (ПТР) ІСП. При їх визначенні застосовуються сукупність відносних основних та додаткової геометричної КЗ, а при визначенні $\Pi_{3i\bar{i}}^*$ крім геометричних застосовується також відносна електромагнітна КЗ:

$$\Pi_{1(2)i}^* \equiv f(K_{30}, \alpha_c, a_m, \lambda_0); \quad (3)$$

$$\Pi_{3i}^* \equiv f(K_{30}, \alpha_c, a_m, \lambda_0, K_{\Pi i}), \quad (4)$$

де K_{30} – коефіцієнт заповнення обмоткового вікна, що враховує клас напруги; a_m і λ_0 – геометричні відносні КЗ; α_c – центральний кут стрижня – додаткова КЗ, що застосовується в частині ЕМС, наприклад ЕМС (рис. 1, а) з магнітопроводом (рис. 1, б); $K_{\Pi i}$ – електромагнітна відносна КЗ [5, 6, 20, 21].

КЗ у виді співвідношень a_m і λ_0 визначаються зовнішнім і внутрішнім діаметрами D_{1i} і D_{2i} розрахункових окружностей магнітопроводу, а КЗ λ_0 визначається геометричними параметрами обмоткового вікна h_{0i} і b_{0i} , наприклад розмірами $h_{\text{опп}}$ і $b_{\text{опп}}$ вікна (рис. 1, б):

$$a_m = D_{ii}/D_{2i} ; \quad (5)$$

$$\lambda_o = h_{oi}/b_{oi} . \quad (6)$$

Співвідношення K_{pi} визначається

$$K_{pi} = K_{dk} \gamma_o \Pi_{po} / (K_{dhi} \gamma_c P_{pm}) , \quad (7)$$

де K_{dk} , K_{dhi} – коефіцієнти додаткових ВКЗ і ВНР i -го варіанту ЕМС; $\gamma_{o(c)}$ – питома маса обмотки (магнітопроводу); Π_{po} – питомі втрати обмотки; P_{pm} – питомі втрати ЕТС магнітопроводу [5, 6].

Показник $\Pi_{сп}$, наприклад трифазного (ТТ), або однофазного (ОТ) трансформатора, а також трифазного (ТР) або однофазного (ОР) реактора, визначається [5, 6, 20 – 22]:

$$\Pi_{ТТ(ОТ)} = \frac{S_H}{6,66(4,44)B_c f_1} \left(\frac{K_{U1} \cos \varphi_2}{\eta \cos \varphi_1 J_1} + \frac{K_{U2}}{J_2} \right); \quad (8)$$

$$\Pi_{ТР(ОР)} = \frac{Q_H}{4,44 B_c f_1 J_o} , \quad (9)$$

де S_H і Q_H – номінальні потужності трансформатора і реактора; f_1 – частота струму; K_{U1} , K_{U2} , $\cos \varphi_{2(1)}$ і $J_{1(2)}$ – коефіцієнти номінальної зміни напруги трансформатора під навантаженням; енергетичний коефіцієнт навантаження трансформатора і щільність струму первинної (вторинної) обмотки; η – попередній розрахунковий ККД трансформатора; J_o – щільність струму обмотки реактора.

Значення $K_{U1(2)}$ визначається відомими виразами [20 – 22]:

$$K_{U1} = 1 - \Delta U_{\%}/200 ; K_{U2} = 1 + \Delta U_{\%}/200 .$$

В [5] показано, що у ідентичних структур ЕМС трансформаторів і реакторів, що мають замкнені магнітопроводи, при ідентичних окремих критеріях оптимізації і у відносних одиницях, відповідно однакові середня довжина витків, маса і втрати розрахункових обмоток і магнітопроводів, а також основні ПТР і оптимальні геометричні співвідношення ЕМС за критеріями мінімумів маси, вартості, втрат активної потужності і контурного об'єму. Тому середню довжину витка і масу обмоток трансформатора (у відносних одиницях) можна визначати на основі заміни системи обмоток різних напруг обмоткою структурно еквівалентного реактора зі щільністю струму J_o . Це суттєво спрощує побудову ММ ЕМС з конструктивною невизначеністю координат середніх витків (концентрів) обмоток, наприклад ЕМС (рис. 1, в – д)

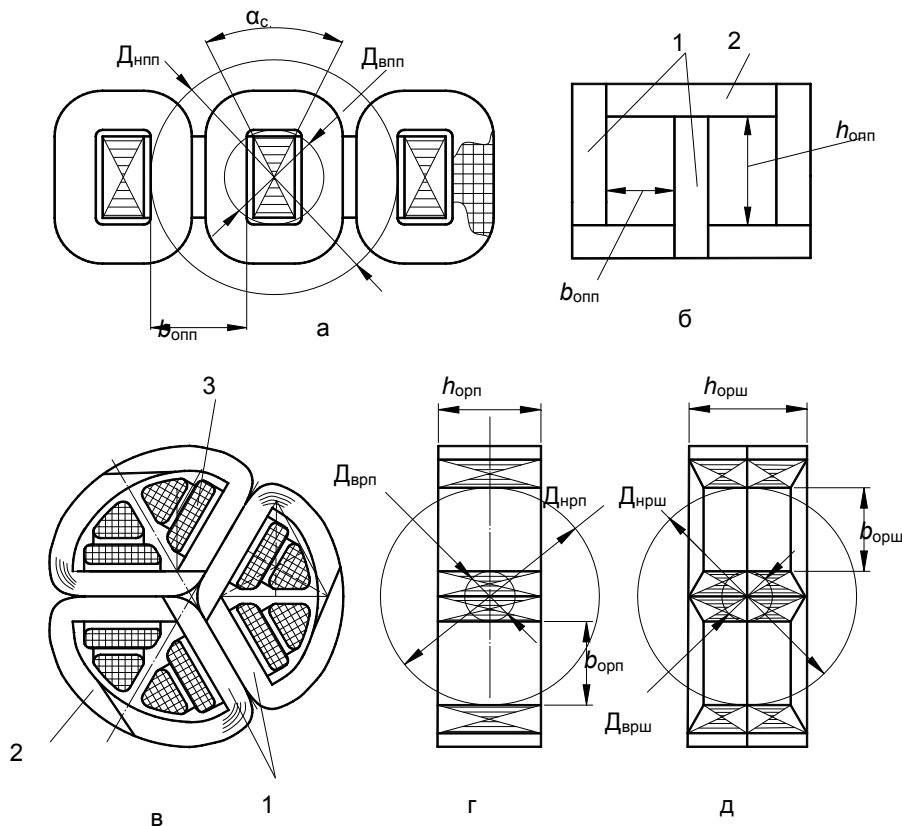


Рис. 1 – Конструктивні схеми планарних (а, б) і варіантів просторових радіальних (в – д) електромагнітних систем та магнітопроводів: 1 – стрижень; 2 – ярмо; 3 – обмотка.

Оптимізаційний структурний синтез виконується визначенням та зіставленням показників ПТР Γ_{iie} варіантів ЕМС. Такий підхід відповідає нормативному документу [23] та методу експертної оцінки [17], згідно яким визначення якості проектування електротехнічного пристрою досягається співставленням відносних показників якості нової розробки з показниками аналогу. Визначається комплексний ПТР [21, 23]

$$Q_k = \sum_{i=1}^{i=n} q_{ki} m_{ki}, \quad (10)$$

де q_{ki} – відносний ПТР, який визначається співвідношенням однотипних i -х величин, що характеризують технічний рівень нової розробки у порівнянні з умовним базовим аналогом; m_{ki} – коефіцієнт вагомості i -го показника.

Якщо в (10) всі значення q_{ki} нової розробки є кращими відносно аналогу, m_{ki} можна не визначати.

Розробка ММ ІСП методом [5, 6, 20 – 22] виконується за алгоритмом [24] з використанням базових рівнянь ЕМС:

$$S_{стп(от)} = P_{отп(от)} / (K_{30} S_{отп(от)}); \quad (11)$$

$$m_{втп(от)} = \gamma_w K_{30} / l_{втп(от)} S_{отп(от)}, \quad (12)$$

де $S_{стп(от)}$ і $S_{отп(т)}$, $m_{втп(от)}$ і $l_{втп(от)}$ – відповідно площі ЕТС поперечного перерізу стрижня і обмоткового вікна, маса і середня довжина витка еквівалентної обмотки, наприклад ТТ (ОТ).

На додаток до структурно-параметричного синтезу ІСП на основі (10 – 12) можливо визначення та співставлення їх теплового стану [24]. Застосовуються рівняння перевищення температури ΔQ_{ij} і теплового стану P_{oii} обмоток відповідно ЕМС малопотужних та силових ІСП:

$$\Delta Q_{ij} = \frac{P_{фкij}(1 + P_{фхij}/P_{фкij})}{\alpha_0 S_{wii} [1 + S_{m(w)ij}/S_{weii}] \sqrt{P_{фхij}/P_{фкij}}};$$

$$P_{oii} = K_{дкij} P_{weii} / S_{weii},$$

де $P_{фкij}$ і $P_{фхij}$ – ВКЗ і ВНР на фазу; α_0 – питомий коефіцієнт тепловіддачі; $S_{m(w)ij}$ – площа "відкритої" поверхні охолодження магнітопроводу (еквівалентної обмотки); P_{weii} – основні втрати еквівалентної обмотки; S_{weii} – площа ефективної поверхні охолодження еквівалентної обмотки:

$$P_{фк(x)ij} = f_{к(x)}(K_{30}, \alpha_c, a_m, \lambda_0, K_{yii}); \quad P_{фх(x)ij} = f_{х(x)}(K_{30}, \alpha_c, a_m, \lambda_0, K_{yii});$$

$$S_{m(w)ij} = f_{m(w)}(K_{30}, \alpha_c, a_m, \lambda_0); \quad S_{weie} = f_w(K_{30}, \alpha_c, a_m, \lambda_0).$$

Також на основі методу [5,6,20 –24] можна виконати структурно-параметричну або параметричну оптимізацію ІСП за інтегральним критерієм [12, 13]. При застосуванні (2) – (4), і КЗ (5) – (7), рівняння (1) перетворюється до виду [24]

$$C_{кт(p)ij} = \left(\sqrt[4]{P_{от(от)}} \right)^3 (\gamma_c K_{днii} P_{п(м)} K_{х(м)} \Pi_{3mii}^* + \gamma_o K_{дк} \Pi_{по} K_{к(о)} \Pi_{3oii}^* + \gamma_c K_{в} \Pi_{с} \Pi_{2ii}^*),$$

де $\Pi_{3m(o)ij}^*$ – складові (4), що відповідають магнітопроводу (обмотці); K_v – коефіцієнт відношення вартості трансформатора (реактора) і його ЕМС; Π_c – вартість ЕТС.

Після появи методу ЦФ [20 –24] також запропонований спосіб узагальненого, згідно [25 –26], структурно-параметричного синтезу ЕМС з застосуванням інваріантного виразу периметру УК стрижня. Однак в [25, 26] застосовується сукупність ММ елементів ЕМС у виді множини функцій позиномів, що передбачає необхідність створення спеціального програмного забезпечення. При цьому в [25, 26] використовуються традиційні для оптимізаційної методології [10, 15, 16] незалежні та залежні КЗ. Вказана методологія передбачає варіації ЕМН та відповідає конкретним виконанням та засобам охолодження ІСП. Публікації з застосуванням методології [10, 15, 16, 25, 26] для структурного синтезу, тобто узагальненого оптимізаційного зіставлення варіантів ЕМС, не виявлено.

Висновки. Розроблений універсальний метод оптимізації ЕМС з ЦФ безрозмірних ПТР і відносних КЗ [5,6, 20 – 24] відрізняється універсальністю (інваріантністю) до структур та конфігурацій активних елементів, конструктивних виконань, типу охолодження і діапазону потужності. Такий метод максимально відповідає вимогам дослідницького структурно-параметричного синтезу електричних машин і апаратів. Вказані універсальні ЦФ відрізняються мінімальним числом оптимізаційних КЗ та наочністю ММ варіантів ЕМС електромеханічних пристроїв, що подаються у виді цілих рівнянь.

Список використаних літературних джерел

1. Перспективы и состояние разработок распределительных трансформаторов массовых серий [Электронный ресурс] / В. А. Бормосов, М.И. Костоусова, А.Ф. Петренко, И.Е. Смольская. Режим доступа: [www.transform.ru/articles/html/03 project/a00000.1. article\(13.09.2004\).](http://www.transform.ru/articles/html/03%20project/a00000.1.article(13.09.2004).)
2. Белкин Г. О. Первых шагах в реформированной электроэнергетике / Г. Белкин, А. Дробышев, В. Ивкин и др. // Электроцех. – 2008. – №9. – с.13-16.

3. Коновалов О.А. Основные требования к трансформаторно – реакторному оборудованию в современных условиях / О.А. Коновалов, В.Н. Подчячев // Энергетик – 2010. – №8. – с. 29-31.
4. Ставинский А. А. Перспективы и особенности дальнейшего усовершенствования индукционных электромеханических и статических преобразователей / А. А. Ставинский, И. А. Тищенко, Н.И. Зеленый // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2010. – №1(77). – с. 64-69.
5. Ставинский А.А. Оптимизационный сравнительный анализ структур статических электромагнитных систем. Ч. 1. Варианты и метод оценки преобразований / А.А. Ставинский, Р.А. Ставинский, Е. А. Авдеева // Электричество. – 2014. – №9. – с. 34-43.
6. Ставинский А. А. Оптимизационный сравнительный анализ структур статических электромагнитных систем. Ч. 2. Примеры структур и результатов преобразований / А.А. Ставинский, Р.А. Ставинский, Е. А. Авдеева // Электричество. – 2014. – №10. – с. 28–34.
7. Бальян Р.Х. Аналитический метод геометрической оптимизации ферромагнитных устройств / Р.Х. Бальян, В.П. Обрусуник // Электричество. – 1979. – №9. – с.40-46.
8. Макарова А.В. Оптимальное соотношение размеров трансформаторов с магнитопроводом прямоугольного сечения / А.В. Макарова // Электротехника 1988. – №7 – с.2-6
9. Бородулин Ю.Б. Автоматизированное проектирование силовых трансформаторов / Ю.Б. Бородулин, В.А. Гусев, Г.В. Попов. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 264 с.
10. Пуйло Г.В. Построение обобщенных математических моделей трансформаторных устройств / Г.В. Пуйло // Електромашинобудування та електрообладнання. Респ. міжвід. наук-техн. зб. – 1996. – №48. – с.89-96.
11. Amadi-Echendu J.E. A bibliographic review of trends in design and management of electrical power transmission transformers / J.E. Amadi-Echendu, J.M. Mafutsana // Proceedings of the 2016 International conference on Industrial Engineering and Operations Management. – Kuala Lumpur, Malaysia, March 8 – 10, 2016. – с. 2010-2018.
12. Лизунов С. Д. Силовые трансформаторы. Справочная книга: под ред. С. Д. Лизунова, А. К. Лоханина. – М. : Энергоатомиздат, 2004. – 616 с.
13. Amoiraliz E.I. Methodogy for the optimum dising of power transformers using minimum number of input parameters / E.I. Amoiraliz, P.S. Geogilakis // ICEM. 2006. – №470 p.1-6.
14. Пентагов И.В. Оптимизация математических моделей трансформаторов и реакторов / И.В. Пентагов, С.В. Рымар // Электричество. – 2006. – №3. – с. – 35-47.
15. Пуйло Г.В. Обобщенная математическая модель для синтеза и анализа силовых трансформаторов со слоевыми обмотками / Г.В. Пуйло, Е.В. Трищенко // Электротехніка і електромеханіка. – 2005. – №2. – с. 42-45.
16. Пуйло Г.В. Показатели конструктивной эффективности силовых трансформаторов / Г.В. Пуйло, Е.В. Трищенко, Н.М. Кокуца // Електромашинобудування та електрообладнання. Республ. Міжвід. наук.-техн. зб. – 2004. – №63. – с.94-98.
17. Андронов С.А. Методы оптимального проектирование. Текст лекций / С.А. Андронов – СПб. : СПб. ГУАП, 2001. – 169 с.
18. Паластин Л.М. Электрические машины автономных источников питания. / Л.М. Паластин. – М.: Энергия 1972. – 464 с.
19. Игнатов В.А. Торцевые асинхронные электродвигатели интегрального изготовления / В.А. Игнатов, К.Я. Вильданов. Энергоатомиздат. – М.: 1998. – 304 с.
20. Ставинський А.А. Геометричні співвідношення та масовартісні показники трифазних просторових трансформаторов малої потужності / А.А. Ставинський, Р.А. Ставинський, О.О. Плахтир // Вісник Кременчуцьк. держ. політехн. ун-ту. – 2002. – Вип.1/2002(12). – с.181-183.
21. Ставинский А.А. Показатели качества и структурной оптимизации пространственных электромагнитных систем трехфазных трансформаторов, реакторов и дросселей / А.А. Ставинский, О.О. Плахтырь, Р.А. Ставинский // Электротехніка та електромеханіка. – 2003. – №4. – с.79-82.
22. Ставинский А.А. Анализ массосстоимостных показателей однофазного тороидального трансформатора / А.А. Ставинский, А.П. Коновалов, Р.А. Ставинский // Електромашинобудування та електрообладнання: Респ. міжвід. наук.-техн. зб. – 2001. – № 57. – с. 85-89.
23. Руководящий документ РД 16538-89. Машины электрические малой мощности. Оценка уровня качества. – М.: ВНИИ стандарт электро, 1989. – 23 с.
24. Ставинский А. А. Обобщенный метод структурно – параметрического синтеза электромагнитных систем электрических машин и индукционных аппаратов. Ч. 1. Результаты сравнительного анализа вариантов трехфазных электромагнитных систем трансформаторов / А. А. Ставинский, Е. А. Авдеева, О.О. Пальчиков, Р.А. Ставинский // Электричество. – 2017. – №4. – с. 39-49.
25. Пуйло Г.В. Математическая модель силового трансформатора, инвариантная к форме поперечного сечения магнитной системы / Г.В. Пуйло, И.С. Кузьменко // Електромашинобудування та електрообладнання. Респ. міжвід. наук.-техн. зб. – К.: Техніка, 2008, вип. 71. – с. 56-60.
26. Пуйло Г.В. Концепция программного обеспечения для исследовательского проектного синтеза трансформаторов на основе инновационных технических решений / Г.В. Пуйло, И.С. Кузьменко // Труды Одесского политехнического университета. – 2010. – Вип. 1(3) – 2(34). – с. 105-111.

УДК 621.311.1

*Швидкий М. М., Овсянников В.М., к.т.н.**Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв***ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУЧАСНИХ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ
УСТАНОВОК**

Проблеми енергетики сьогодні стоять дуже гостро в усьому світі і торкаються навіть економічно сильно розвинених країн. Традиційні напрямки розвитку енергетики на базі органічного палива, гідроенергетики, атомної енергетики в силу свого впливу на екологію і безпеку життєдіяльності людства поступово здають свої позиції як основні і єдині джерела енергії. В даний час досягнуті великі успіхи в розвитку альтернативних джерел енергії [1].

Основними напрямками альтернативної енергетики в даний час є: вітроенергетика (автономні вітрогенератори); геліоенергетика (сонячні водонагрівачі, сонячні колектори, фотоелектричні елементи); альтернативна гідроенергетика (припливні електростанції, хвильові електростанції, міні- і мікро ГЕС, які встановлюються в основному на малих річках, у тому числі – водоспадні електростанції); геотермальна енергетика (теплові електростанції по принципу відбору високих температур ґрунтових вод і використання їх в циклі, а також ґрунтові теплообмінники по принципу відбору тепла від ґрунту за допомогою теплообміну); космічна енергетика (отримання електроенергії в фотоелектричних елементах, розташованих на орбіті Землі, та транспортування її на землю у формі мікрохвильового випромінювання); воднева і сірководнева енергетика (водневі двигуни, паливні елементи, біопаливо).

Вітроенергетика це галузь енергетики, що спеціалізується на використанні енергії вітру – кінетичної енергії повітряних мас в атмосфері. Енергію вітру відносять до поновлюваних видів енергії, так як вона є наслідком діяльності сонця. Вітроенергетика є галуззю, що бурхливо розвивається. Так в кінці 2016 року загальна потужність усіх вітрогенераторів склала 486,8 ГВт [2].

Вітряні генератори практично не споживають викопного палива. Робота вітрогенератора потужністю всього лише 1 МВт за 20 років експлуатації дозволяє заощадити приблизно 29 тис. тонн вугілля або 92 тис. барелів нафти.

Закон України «Про енергозбереження» та «Національна енергетична програма» визначають вітроенергетику, як пріоритетний напрямок в комплексі розвитку нетрадиційних джерел енергії.

Вітроенергетика є нерегульованим джерелом енергії. Вироблення вітроелектростанції залежить від сили вітру – фактора, що відрізняється великою мінливістю. Відповідно, видача електроенергії з вітрогенератора в енергосистему вирізняється великою нерівномірністю як в добовому, так і в тижневому, місячному, річному і багаторічному розрізі. З огляду на те, що енергосистема сама має неоднорідність навантаження (піки і провали енергоспоживання), регулювати які вітроенергетика, природно, не може, введення значної частки вітроенергетики в енергосистему сприяє її дестабілізації. Зрозуміло, що вітроенергетика вимагає резерву потужності в енергосистемі (наприклад, у вигляді газотурбінних електростанцій), а також механізмів згладжування неоднорідності їх вироблення (у вигляді ГЕС або ГАЕС). Дана особливість вітроенергетики істотно здорожує одержувану від них електроенергію.

Класична структура вітроенергетичної установки (ВЕУ) наведено на рис.1. До головного силового ланцюга подібних ВЕУ входять: робоче вітроколесо, на яке діє вітер швидкістю V ; редуктор P , виконуючий функцію підвищення швидкості обертання ротора трифазного асинхронного генератора (АГ); підвищувальний трансформатор (на блок-схемі не показано). Вітроколесо забезпечено механізмом повороту лопатей для регулювання потужності, що виробляється генератором. До параметрів, які відображають електричну потужність відносяться: V – швидкість вітру; Ω – кутова швидкість обертання вітроколеса; n – передавальне число редуктора; C , i_c – ємність і струм батареї конденсаторів; u_s , i_s – напруга і струм на виході генератора; L – еквівалентна індуктивність кабелів і обмоток трансформатора; r , g – опір і провідність кабелів і арматури; U , I – напруга і струм мережі [3].

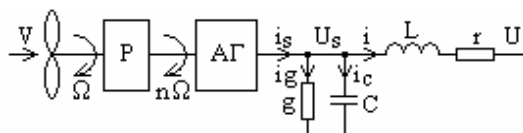


Рисунок 1 – Спрощена блок-схема вітроенергетичної установки

На сьогоднішній час найбільшу популярність найшли вітроелектричні установки з горизонтальною віссю обертання, які складають приблизно 98% всіх ВЕУ мереж енергосистем.

Звичайно, що при експлуатації таких установок виникають різні нехарактерні обставини. Наприклад, невеликі поодинокі вітроустановки можуть мати проблеми з мережевою інфраструктурою, оскільки вартість ліній електропередач і розподільного пристрою для підключення до енергосистеми можуть виявитися занадто ве-

ликими. Проблема частково вирішується, якщо вітроустановка підключається до місцевої мережі, де є споживачі електричної енергії достатньої потужності. У цьому випадку використовується існуюче силове і розподільне обладнання, а ВЕУ створює певний підпір потужності, знижуючи потужність, що споживається місцевою мережею ззовні. Крім того, трансформаторна підстанція і зовнішня лінія електропередач виявляються менш навантаженими, хоча загальне споживання потужності може бути вище.

Ще одне обмеження експлуатації мережевих ВЕУ – такі установки позбавлені пристроєм підтримки частоти струму на рівні стандартів, тому автономно працювати не можуть.

І навпроти, великі вітроустановки відчувають значні проблеми з ремонтом, оскільки заміна великої деталі (лопати, ротора і т. п.) на висоті понад 100 м є складним і дорогим заходом.

Особливу увагу заслуговують екологічні проблеми, які виникають при експлуатації ВЕУ. До основних слід віднести наступні.

1. Генерація шуму. Вітряні енергетичні установки виробляють два різновиди шуму: механічний шум – шум від роботи механічних та електричних компонентів (для сучасних вітроустановок практично відсутній, але є значним в вітроустановках старших моделей) і аеродинамічний шум – шум від взаємодії вітрового потоку з лопатями установки (посилюється при проходженні лопаті повз вежі вітроустановки)

2. Генерація низькочастотних вібрацій. Низькочастотні коливання, що передаються через ґрунт, викликають відчутне тремтіння скла в будинках на відстані до 60 м від вітроустановок мегаватного класу. Як правило, житлові будинки розташовуються на відстані не менше 300 м від вітроустановок. На такій відстані внесок вітроустановки в інфразвукові коливання вже не може бути виділений з фонових коливань.

3. Обмерзання лопатей. При експлуатації вітроустановок в зимовий період при високій вологості повітря можливе утворення крижаних наростів на лопатях. При пуску вітроустановки можливий розліт льоду на значну відстань. Як правило, на території, на якій можливі випадки обмерзання лопатей, встановлюються попереджувальні знаки на відстані 150 м від вітроустановки. Крім того, в разі легкого обмерзання лопатей були відзначені випадки поліпшення аеродинамічних характеристик профілю.

4. Використання землі. Турбіни займають лише 1% від усієї території вітряної ферми. На 99% площі ферми можливо займатися сільським господарством або іншою діяльністю, що і відбувається в таких густонаселених країнах, як Данія, Нідерланди, Німеччина. Фундамент вітроустановки, що займає місце близько 10 м в діаметрі, зазвичай повністю знаходиться під землею, дозволяючи розширити сільськогосподарське використання землі практично до самої основи вежі. Земля здається в оренду, що дозволяє фермерам отримувати додатковий дохід.

5. Радіоперешкоди. Металеві споруди вітроустановки, особливо елементи в лопатях, можуть викликати значні перешкоди в прийомі радіосигналу. Чим більші вітроустановки, тим більші перешкоди вона може створювати. У ряді випадків для вирішення проблеми доводиться встановлювати додаткові ретранслятори.

6. Візуальне забруднення. Візуальний вплив споруд ВЕУ на психофізичну систему людини – суб'єктивний фактор. Для поліпшення естетичного вигляду вітряних установок у багатьох великих фірмах працюють професійні дизайнери. Ландшафтні архітектори залучаються для візуального об'єднання нових проєктів.

Вказавши недоліки використання ВЕУ, не слід забувати й про найважливіші позитивні екологічні фактори поновлювальної вітрової енергетики. До основних можна віднести наступні.

1. Значне зменшення забруднення атмосфери. Наприклад, вітроенергетична установка потужністю 1 МВт скорочує щорічні викиди в атмосферу 1800 тонн CO₂, 9 тонн SO₂, 4 тонн оксидів азоту.

2. Збереження водних ресурсів. На відміну від традиційних теплових електростанцій, вітряні електростанції не використовують воду, що дозволяє істотно знизити навантаження на водні ресурси.

3. Використання в Україні ВЕУ дасть можливість отримати більш незалежну економічну стабільність. Крім того, всі природні умови сприяють таким діям.

Висновки. Використання енергії вітру для виробництва електроенергії – це загальнодоступне і поновлюване джерело, що не виробляє згубних викидів шкідливих і отруйних речовин або парникових газів в атмосферу. ВЕУ не вимагають додаткових витрат після своєї установки, не враховуючи виходу з ладу енергетичного обладнання і поломок в механічних ланках вітрогенератора.

З початком промислового використання вітрогенераторів в якості об'єктів з виробництва електроенергії виявився істотний недолік таких установок – підвищений шум та низькочастотна вібрація.

Великі ВЕУ вимагають і великих площ на суші або в прибережній зоні, де вже неможливо буде вести експлуатацію земельних наділів і проводити лов риби. Основним же обмеженням по установці вітрогенераторів служить мінливість вітру або мала його швидкість, яка не дозволить ефективно використовувати його потужність.

Перспективи використання відновлюваних джерел енергії пов'язані з їх екологічною чистотою, низькою вартістю експлуатації та майбутнім паливним дефіцитом у традиційній енергетиці.

Список використаних джерел

1. Суббота А.М., Гаева Д.А. Будущее энергетики – Альтернативные источники энергии [Текст] / А. М. Суббота // Комп'ютерні системи та інформаційні технології. – 2010. – № 4. – С. 64-67; № 10. – С. 125-132.

2. Краткий обзор мировой ветроэнергетики за 2016 год [Электронный ресурс]: 2017. – режим доступа .: <https://alteco.in.ua/about/news/korporativnye-novosti/197-kratkij-obzor-mirovoj-vetroenergetiki-2016>

3. Канов Л.Н. Математическое моделирование ветроэнергетической установки с асинхронным генератором [Текст] /Л.Н. Канов // Электричні станції, мережі і системи. – 2012.– №5.– С. 71-74.

УДК 621.311.25

Гончарук Д. О., Овсянников В. М., к.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв

МАЛОПОТУЖНА АВТОНОМНА ФОТОЕЛЕКТРИЧНА СИСТЕМА

Інтенсивність сонячного випромінювання залежить від безлічі факторів: географічної широти, кута нахилу поверхні по відношенню до Сонця, місцевого клімату, хмарності, запиленості повітря, висоти над рівнем моря, сезону року і часу доби. У середніх широтах вдень інтенсивність сонячного випромінювання досягає 800 Вт/м^2 влітку і $200 \dots 350 \text{ Вт/м}^2$ взимку, зменшуючись до нуля із заходом Сонця.

Сучасні технології використання сонячної енергії розвиваються за двома основними напрямками – перетворення променевої енергії Сонця в тепло і електрику.

Найпростішим способом використання сонячної енергії є нагрів води в плоских сонячних колекторах. Ефективний сонячний водонагрівач був винайдений в 1909 р, і з тих пір технологія перетворення сонячної енергії в теплову постійно розвивалася й удосконалювалася. Перевагами технології є порівняно високий ККД і невелика вартість геліоустановок.

Технології перетворення променевої енергії Сонця в електроенергію є більш молодими і базуються на сучасних досягненнях науково-технічного прогресу. Можливі два варіанти перетворення енергії сонячної радіації в електроенергію: прямий або непрямий.

Непряме перетворення здійснюється шляхом концентрації радіації за допомогою дзеркал з подальшим перетворенням води в пар і генеруванням електричної енергії традиційним способом.

Пряме перетворення сонячної енергії в електричну здійснюється за допомогою термоелектричних або фотоелектричних перетворювачів.

Термоелектричні генератори застосовуються як автономні джерела живлення для споживачів невеликої потужності – маяків, морських сигнальних буїв і т.п.

Найбільш перспективним способом прямого перетворення енергії випромінювання Сонця в електроенергію в даний час є застосування напівпровідникових фотоелектричних елементів. Найпростіший сонячний елемент складається з двох з'єднаних між собою кремнієвих пластин. Падаюче на верхню пластину світло вибиває з неї електрони, які переміщуючись на нижню пластину створюють ЕРС елемента. Кілька об'єднаних фотоелектричних перетворювачів являють собою сонячну батарею. Напруга сонячних батарей досягає десятків вольт, а потужність – десятків кіловат.

Сучасні фотоелектричні перетворювачі виготовляються з хімічно чистого кристалічного кремнію, широко розповсюдженого в земній корі елемента – це пісок, кварц. ККД кремнієвих фотоелектричних перетворювачів становить 12-17%, в лабораторних умовах на деяких напівпровідниках досягнута ефективність 40%.

Основною перевагою сонячних батарей є абсолютна екологічна чистота отримання електроенергії, великий термін служби, практична відсутність експлуатаційних витрат.

Пряме перетворення сонячної енергії в електроенергію за допомогою фотоелектричних перетворювачів є в даний час одним з найбільш динамічних напрямів розвитку відновлюваної енергетики. Такому розвитку подій багато в чому сприяють отриманий позитивний досвід практичного застосування фотоелектричних перетворювачів і постійне вдосконалення технологій виготовлення сонячних елементів, пов'язаних з підвищенням їх ККД і зниженням собівартості.

За даними американського агентства «Стратегія без кордонів» світовий ринок фотоелектрика перейшов 10-ти мільярдний рубіж в доларовому вимірі і вже в недалекому майбутньому фотоенергетика може стати серйозною альтернативою будь-яким іншим методам виробництва електричної енергії.

В основі будь-якого фотоелектричного перетворювача лежить сонячний елемент (СЕ). Сонячні елементи можуть бути круглими (діаметром 100, 125 і 150 мм) або квадратними (82x82, 100x100 і 125x125 мм). Потужність елементів – $0,9 \dots 2,7 \text{ Вт}$.

Найбільшого поширення набули сонячні елементи з використанням полікристалічного або монокристалічного кремнію – більше 90% від усіх модулів. Полікристалічні СЕ мають більш низький ККД, ніж монокристалічні, вони також менш стабільні в часі. Однак коштують дешевше і внаслідок кращого заповнення площі модулів їх ККД не набагато менше, ніж у модулів з монокристалічного кремнію.

Близько 10% сонячних елементів використовують аморфний кремній. Колір кристалічних фотоелементів зазвичай синій з відблиском, а аморфні модулі – гладкі на вигляд і змінюють колір в залежності від кута зору. Кристалічні сонячні елементи мають більш високий ККД у порівнянні з аморфними фотоелементами. Аморф-

ний кремній, з огляду на його більш низькою енергетичної ефективності, знаходить застосування в приладах невеликої потужності (годинники, калькулятори тощо), в силових установках використовується рідко.

Для надійного забезпечення споживача електрикою з використанням сонячної енергії створюються фотоелектричні системи (ФС), в які крім сонячних модулів входить ряд додаткових елементів, склад яких багато в чому залежить від типу і призначення сонячної електростанції.

Розрізняють два основних типи сонячних фотоелектричних систем:

- автономні системи;
- системи, що працюють паралельно з мережею.

Автономні фотоелектричні системи використовуються для електропостачання споживачів невеликої потужності, віддалених від мереж централізованого електропостачання, куди утруднена або економічно не вигідна прокладання ліній електропередач. Знаходять все більше застосування для електропостачання індивідуальних житлових будинків.

Автономна ФС, крім сонячних панелей, як правило, містить акумуляторні батареї (АБ) і контролер заряду-розряду. При необхідності електропостачання споживачів, які потребують стандартного напруги 220 В змінного струму, до складу ФС необхідно включити інвертор (рис.1).

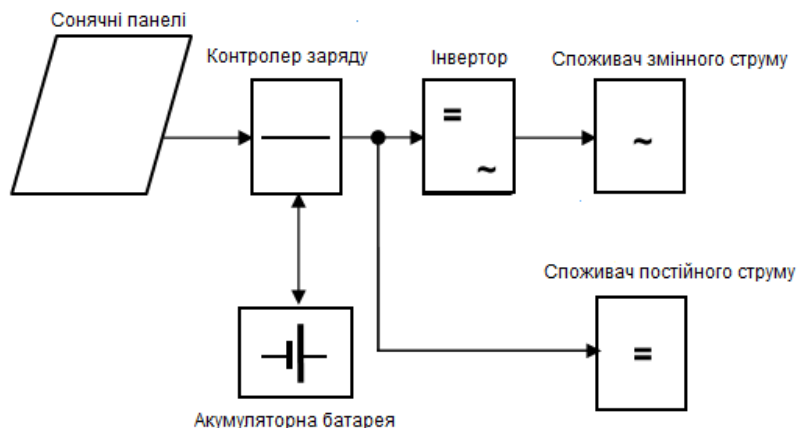


Рисунок 1 – Автономна фотоелектрична система електропостачання.

Параметри елементів ФС (тип і кількість СМ, ємність АБ, потужність інвертора), а відповідно і її вартість, залежать від багатьох факторів: складу електричного навантаження і середньодобового споживання електроенергії, характеру роботи ФС (сезонний або цілорічний), середньомісячного приходу сонячної радіації і числа послідовних днів без сонця в місці установки сонячних модулів (СМ), системи орієнтації сонячних панелей на Сонце і деяких інших чинників.

Для підвищення ефективності роботи сонячних панелей необхідна їх правильна орієнтація на сонці. Найкращі умови для генерації електроенергії будуть при яскравому сонці і при орієнтації панелей перпендикулярно сонячному світлу. Для місцевостей північної півкулі панелі повинні бути орієнтовані на південь, для країн південної півкулі – на північ.

Сонце рухається по небу зі сходу на захід. Сонячні панелі зазвичай розташовуються на даху або підтримуючої конструкції у фіксованому положенні і не можуть стежити за положенням сонця протягом дня. Тому, зазвичай сонячні панелі не перебувають під оптимальним кутом (90 градусів) протягом усього дня. Кут між горизонтальною площиною і сонячною панеллю зазвичай називають кутом нахилу.

Внаслідок руху Землі навколо Сонця, мають місце також сезонні варіації. Взимку сонце не досягає того ж кута, як влітку. В ідеалі, сонячні панелі повинні розташовуватися влітку більш горизонтально, ніж взимку. Тому кут нахилу для роботи влітку вибирається менше, ніж для роботи взимку. Якщо немає можливості змінювати кут нахилу двічі на рік, то панелі повинні розташовуватися під оптимальним кутом, значення якого лежить десь посередині між оптимальними кутами для літа та зими. Для кожної широти є свій оптимальний кут нахилу панелей. Тільки для місцевостей біля екватора сонячні панелі повинні розташовуватися горизонтально.

Зазвичай приймається для весни та осені оптимальний кут нахилу, що дорівнює значенню широти місцевості. Для зими до цього значення додається 10-15 градусів, а влітку від цього значення віднімається 10-15 градусів. Тому зазвичай рекомендується міняти двічі на рік кут нахилу з «літнього» на «зимовий». Якщо такої можливості немає, то кут нахилу вибирається приблизно рівним широті місцевості.

Список використаних джерел

1. С.Карабанов, Ю.Кухмистров. Фотоэлектрические системы. Перспективы. Состав. Параметры[Текст]// Электронные компоненты, 2000, №5.
2. Обухов С.Г. Системы генерирования электрической энергии с использованием возобновляемых энергоресурсов: учеб. пособие [Текст] / С.Г.Обухов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 140 с.

УДК 621.314.621

Гончарук Д. О., Овсянников В. М., к.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПОТУЖНІСТЮ – АЛЬТЕРНАТИВА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СУДНОВОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

На сьогодні системи керування потужністю (СКП) є ключовою складовою практично всіх суднових систем автоматизації енергетичних установок. Використання таких систем дозволяє максимізувати здатність запобігання аварійного відключення електроживлення й мінімізувати витрату палива. СКП дає можливість зменшити витрати на обслуговування через захист устаткування проти поломок і збоїв. Через взаємодію СКП з іншими системами керування, може бути забезпечена максимізована робота практично кожного суднового електропривода. Особливо актуальним завданням можна назвати втілення таких систем на підрулюючи електроприводи.

Не залежно від класу судна, його енергетична система повинна бути стійкою до деяких несправностей. Згідно теорії, для конкретного судна фактичну повну встановлену потужність, яка підлягає управлінню, можна виразити наступним рівнянням [1]:

$$P_{rg} = P_{rgs} \cdot \frac{N_{comp}}{N_{comp} - 1}, \quad (1)$$

де P_{rg} – повна встановлена потужність, P_{rgs} – необхідна потужність генерування й N_{comp} – число відділених підсистем.

Генераторні установки, що живлять маршові двигуни, підрулюючи пристрої і їхні допоміжні системи, завжди розміщені в окремих приміщеннях судна – електростанціях. При цьому, рівняння (1) засноване на рівній здібності кожної з підсистем, що звичайно застосовується в корабельних проектах. Згідно (1), встановлена потужність зменшується зі зменшенням числа підсистем, або числа машинних відсіків. Найвищу P_{rg} можна отримати із двома підсистемами (якщо $N_{comp} = 2$, тоді $P_{rg} = 2P_{rgs}$). Коли N_{comp} збільшується, P_{rg} прагне до P_{rgs} , тобто $P_{rg} \approx P_{rgs}$.

Зменшення встановленої навантажувальної здатності по потужності P_{rg} повністю компенсує збільшення додаткових відсіків, кожного з допоміжними системами й службами. Таким чином, вказані суперечливі цілі й обмеження призводять до необхідності розв'язання задачі оптимізації. Основними обмеженнями при цьому є: уразливість до одиночних дефектів з можливістю розширюватися на багаторазові дефекти; виконання функцій системи при різних експлуатаційних й погодних умовах.

Цілями задачі оптимізації є: мінімізація встановленої потужності суднової електростанції; мінімізація складності енергетичної системи й витрат на додаткове допоміжне устаткування; мінімізація експлуатаційних витрат; мінімізація витрат палива.

Для реалізації цих цілей, корисно користуватися алгоритмом резервування енергетичної системи [2], який наведено на рис. 1.

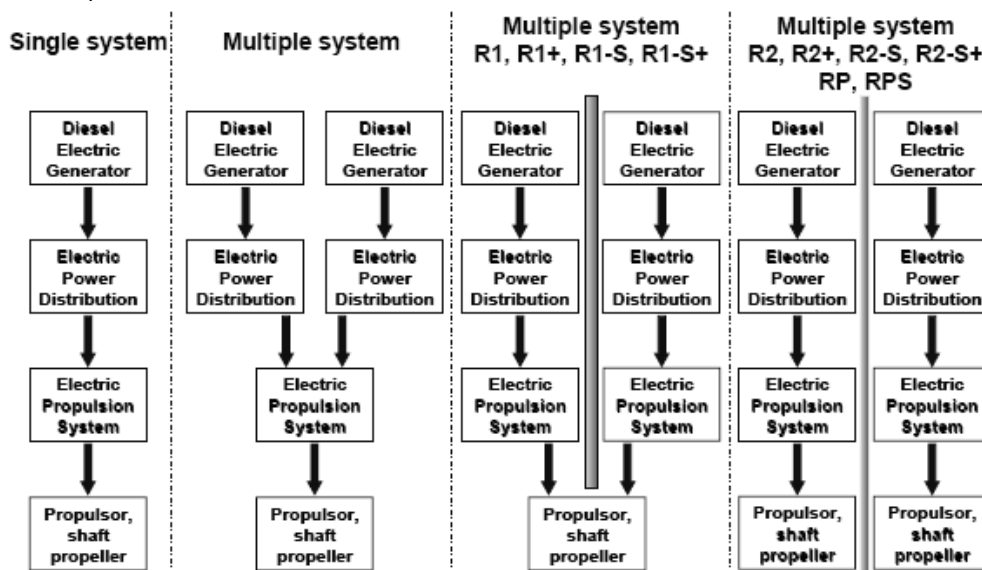


Рисунок 1 – Різні рівні резервування енергетичної системи для одного або двох машинних відділень

При визначенні кількості рівнів резервування енергетичної системи з одним, або двома машинними відділеннями, необхідно враховувати:

- рівень генерування потужності (визначає число генераторних установок);
- рівень розподілу потужності (визначає число розподільних щитів, споживачів, і т.д.);
- електричну частину головної енергетичної установки (число частотних перетворювачів, електродвигунів, і т.д.);
- механічну частину головної енергетичної установки (число валів, механізмів, рушіїв, і т.д.).

Для кожного із цих рівнів цілі й обмеження, визначені вище, можуть бути включені в рішення задачі оптимізації. Конструкційні обмеження впливають на потужність при експлуатації суднової електростанції, а також на надійність всієї суднової енергосистеми.

Таким чином, робота СКП буде залежати великою мірою від більшості постійних параметрів, таких як: конфігурація енергетичної системи; клас DP; встановлена потужність; число генераторних установок; число розподільчих щитів.

Слід відмітити схильність системи керування потужності до дефектів.

У звичайному машинному відділенні з більш низьким рівнем автоматизації система керування централізована в одному контролюючому блоці (центральный процесор) і багатьох місцевих блоках керування, які розподілені в машинному відділенні. Головна станція оператора розташована в тому ж самому місці де й центральный процесор – приміщенні ЦПУ.

На судах з високим рівнем автоматизації, які експлуатуються сьогодні, розподіл функцій СКП відбувається в декількох блоках. На рис. 2 показано інтеграційну систему, яка охоплює зв'язки з судною мережею, між постами керування, програмувальними логічними контролерами маршових двигунів і двигунів підрулюючих пристроїв.

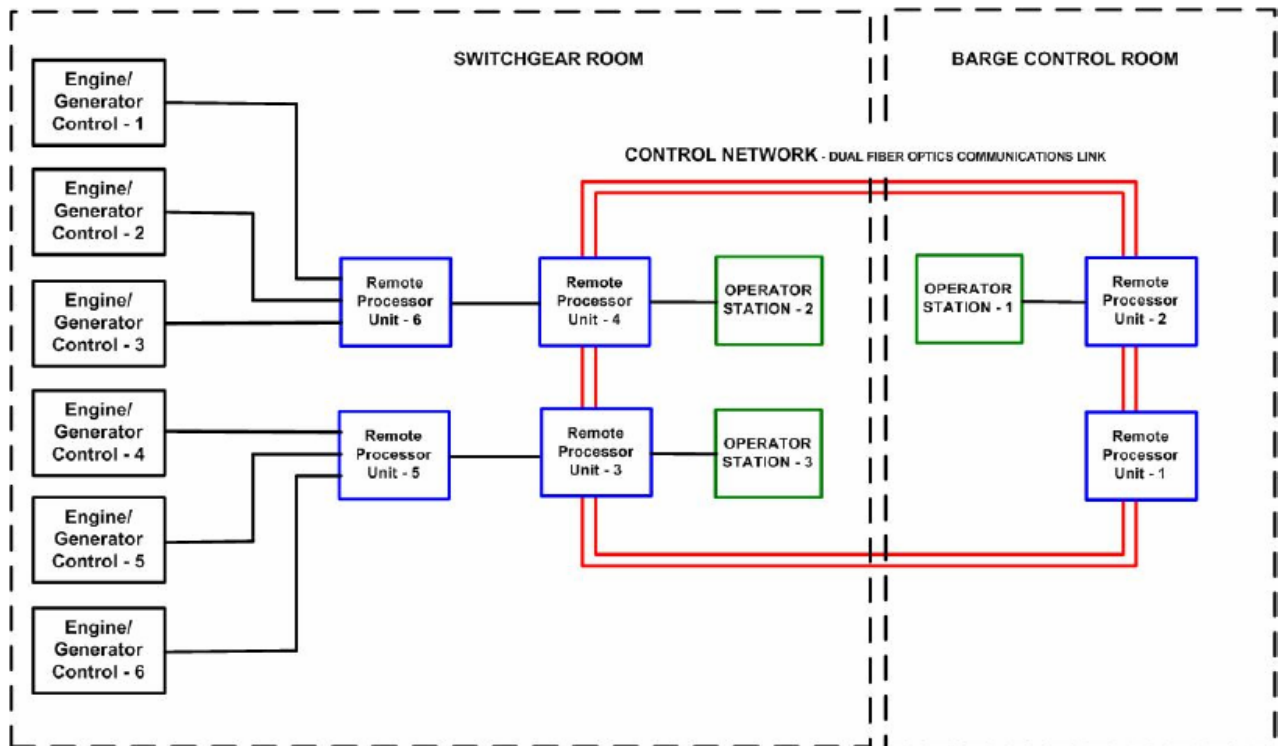


Рисунок 2 – Функціональна інтеграція й інформаційний розподіл в СКП

На рис. 2 видно, що структура СКП є достатньо складною. Всі елементи системи виконують обчислення, засновані на інформації, отриманій від її власної шини.

У випадках, коли судно працює з енергетичною системою, що розділена на дві або більше ізольованих підсистем, у кожній енергетичній системі буде своя власна підстанція СКП. В даному випадку кожна підстанція СКП може діяти як автономна одиниця.

Для суден, які мають невеликі потужності [3, 4], кожен контролер відповідає за станцію в цілому. Тут СКП контролює режими експлуатації й режими готовності.

Висновки. Суднова система керування потужністю повністю контролює споживану електричну енергію й порівнює її з доступним виробітком.

За допомогою СКП можна забезпечувати автоматичні запуски й зупинки генераторних агрегатів та змінювати їх навантаження.

У випадку раптової відмови працюючого генераторного агрегату, енергетична система буде переключена на інші генераторні агрегати.

Список використаних джерел

1. Нахимов О. Я., Шилов Ю. К. Управление ЭЭС надводного корабля при дефиците генерируемой мощности // Системы управления и обработки информации: научн.-техн. сб./ОАО «Концерн «НПО «Аврора», СПб.- Вып.22. – с. 28-40.
2. Губанов Ю.А., Залманов С.З., Кузнецов Б.П. Особенности создания систем управления корабельных ЭЭС: //Системы управления и обработки информации: Научно-технический сборник ФНПЦ «НПО «Аврора», СПб., 2000. – Вып. 1.
3. <http://dvk-electro.ru/06powerStation/ppm.html>. Система управления судовой электростанцией РРМ-3.
4. <http://dvk-electro.ru/production.html>. Автоматизация судовых электростанций.

УДК 621.313

Новогрецкий С. Н., к.т.н., Прудников А. А.

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев

ВЫСШИЕ ГАРМОНИКИ ТОКА ОСНОВНОЙ ОБМОТКИ ТРЕХФАЗНОГО РЕАКТОРА ПРИ НЕИЗМЕННОЙ НАМАГНИЧИВАЮЩЕЙ СИЛЕ ОБМОТКИ ПОДМАГНИЧИВАНИЯ

Постановка проблемы. В [1] проведен анализ гармонического состава магнитодвижущей силы основной обмотки трехфазного реактора с радиальным симметричным магнитопроводом (рис. 1) при поперечном подмагничивании ярма постоянным и переменным магнитными полями. Магнитопровод реактора состоит из трех витых секций 1, которые при совмещении образуют радиальную симметричную конструкцию. Фазы основной трехфазной обмотки 2 охватывают смежные участки – стержни витого магнитопровода. Обмотка подмагничивания 3 располагается на индукторе 4, который, имея вид скобы, охватывает внешнюю часть магнитопровода и замыкает магнитный поток подмагничивания в поперечном направлении по отношению к магнитному потоку основной обмотки.

В результате анализа были рассмотрены два крайних случая. В первом – магнитная индукция поля подмагничивания считалась неизменной, а во втором изменялась таким образом, что в любой момент времени суммарная индукция в подмагничиваемом участке по величине оставалась постоянной. В первом и во втором случае было показано, что предложенная конструкция реактора позволяет производить регулирование реактивного тока в широких пределах, но в первом наблюдается значительное содержание пятой и седьмой гармоник в токе, которые по величине могут достигать 25%, а во втором случае отсутствие гармоник, вызванное неизменной величиной магнитной проницаемости подмагничиваемого участка, сопровождается усложнением закона регулирования магнитной индукции подмагничивания.

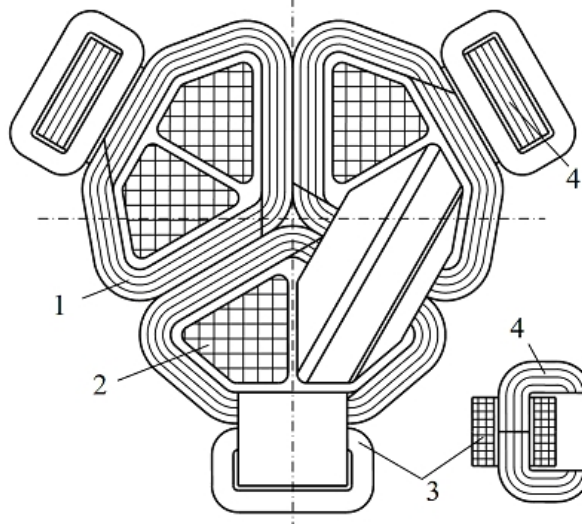


Рисунок 1. Конструкция трехфазного реактора с поперечным подмагничиванием

Материалы и результаты исследований. Подмагничивание предполагает наличие постоянной составляющей магнитного поля, а в этом случае проще обеспечить постоянство намагничивающей силы катушки, чем конкретное значение магнитной индукции при постоянно меняющемся значении магнитной проницаемости. Более того, можно предположить, что уровень гармоник в токе основной обмотки при обеспече-

нии постоянства намагничивающей силы обмотки подмагничивания будет меньше, чем при обеспечении постоянства магнитной индукции поперечного поля подмагничивания. Это обусловлено тем, что при геометрическом сложении продольного и поперечного полей будут иметь место максимум и минимум суммарной магнитной индукции. При максимуме будет наблюдаться снижение магнитной проницаемости подмагничиваемого участка и уменьшение магнитного потока подмагничивания, а при минимуме магнитный поток будет увеличиваться. В результате, при поддержании постоянства намагничивающей силы обмотки подмагничивания (а значит и постоянства тока, протекающего через нее) магнитный поток подмагничивания будет меняться с двойной частотой, причем максимум переменной составляющей будет соответствовать нулевому значению продольного магнитного потока от основной обмотки. Как показано в [1], такая переменная составляющая способствует уменьшению гармоник, а при определенной амплитуде вообще позволяет избавиться от них.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы произведем расчет магнитной цепи реактора, путем анализа ее упрощенной схемы замещения, представленной на рис.2.

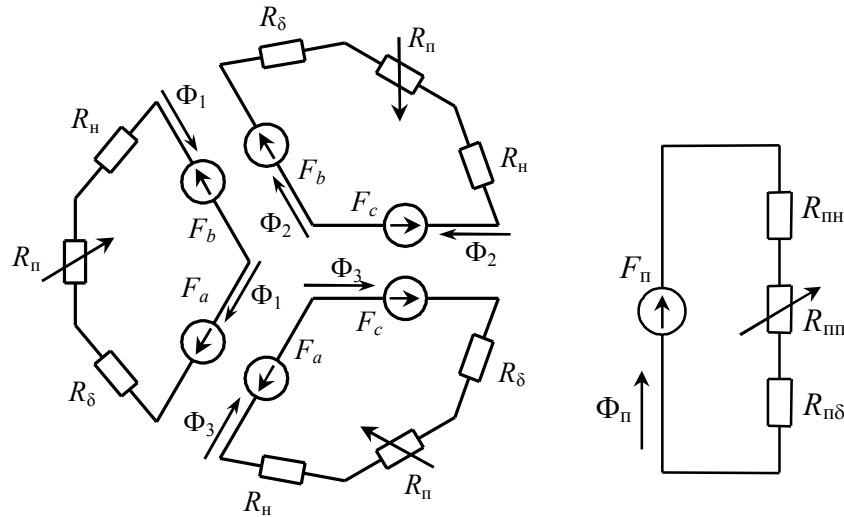


Рисунок 2. Схема замещения магнитной цепи трехфазного реактора с поперечным подмагничиванием.

На рис. 2 следующие обозначения: R_{δ} и $R_{n\delta}$ – магнитное сопротивление стыкового зазора в секции магнитопровода и индуктора; R_n , R_n и R_{nn} , R_{nn} – магнитное сопротивление подмагничиваемой и неподмагничиваемой части магнитопровода секции и цепи подмагничивания; F_a , F_b , F_c , F_n – намагничивающие силы фазных обмоток реактора и обмотки подмагничивания; Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 , Φ_n – магнитные потоки секций магнитопровода и индуктора.

Легко показать, что уравнение связи между магнитным потоком и намагничивающей силой для одной секции магнитопровода можно записать следующим образом:

$$F_1(t) = \Phi_1(t)(R_n + R_n + R_{\delta}) = B(t) l \left(\frac{l_n/l}{\mu_n(B(t))} + \frac{l_n/l}{\mu_n(B(t), B_n(t))} + \frac{l_{\delta}/l}{\mu_0} \right);$$

$$F_{yd}(t) = B(t) \left(\frac{l_n/l}{\mu_n(B(t))} + \frac{l_n/l}{\mu_n(B(t), B_n(t))} + \frac{l_{\delta}/l}{\mu_0} \right); F_{yd}(t) = \frac{F_1(t)}{l}; B(t) = \frac{\Phi_1(t)}{S},$$

где l и S – длина и площадь поперечного сечения секции магнитопровода; l_n , l_n и l_{δ} – длины неподмагничиваемого и подмагничиваемого участков секции, а также величина стыкового зазора; μ_n и μ_n – значение магнитной проницаемости неподмагниченной и подмагниченной частей секции; $B(t)$ – значение индукции в магнитопроводе; $B_n(t)$ – магнитная индукция поперечного поля подмагничивания; $F_{yd}(t)$ – удельное значение намагничивающей силы на единицу длины.

При использовании изотропной стали магнитные проницаемости μ_n и μ_n определяются по основной кривой намагничивания [1]:

$$\mu_n(B(t)) = \frac{B(t)}{H(B(t))}; \mu_n(B(t), B_n(t)) = \frac{\sqrt{B(t)^2 + B_n(t)^2}}{H(\sqrt{B(t)^2 + B_n(t)^2})},$$

где $H(B)$ – напряженность магнитного поля, определенная по основной кривой намагничивания.

Такое же уравнение можно получить и для магнитной цепи поперечного подмагничивания:

$$F_n = \Phi_n(t)(R_{nn} + R_{nn} + R_{n\delta}) = B_n(t) l_n \left(\frac{l_{nn}/l_n}{\mu_n(B_n(t))} + \frac{l_{nn}/l_n}{\mu_n(B(t), B_n(t))} + \frac{l_{n\delta}/l_n}{\mu_0} \right);$$

$$F_{удп} = B_n(t) \left(\frac{I_{пн}/I_n}{\mu_n(B_n(t))} + \frac{I_{пп}/I_n}{\mu_n(B(t), B_n(t))} + \frac{I_{пс}/I_n}{\mu_0} \right),$$

где l_n и S_n – длина и площадь поперечного сечения секции магнитопровода индуктора; $l_{пн}$, $l_{пп}$ и $l_{пс}$ – длины неподмагничиваемого индуктора и высота подмагничиваемого участка секции, а также величина стыкового зазора; $F_{удп}$ – удельное значение намагничивающей силы подмагничивающей обмотки на единицу длины.

Разработана программа, которая по амплитуде B_{m1} первой гармоники $B(t)$ итерационным методом подбирает значения амплитуд третьей B_{m3} и девятой B_{m9} гармоник, при которых в намагничивающей силе $F_{уд}(t)$ такие составляющие отсутствуют. Расчет гармоник осуществляется по дискретному преобразованию Фурье при количестве расчетных точек на период 200. В расчетах использовались характеристики холоднокатаной изотропной стали марки 2412, основная кривая намагничивания которой была задана с помощью линейной интерполяции по табличным данным. Программа также содержит подпрограмму, которая для заданного значения $B(t)$ и $F_{удп}$ рассчитывает итерационным методом мгновенное значение $B_n(t)$.

В таблице 1 представлены результаты расчетов при поперечном подмагничивании постоянным током. Амплитуды пятой F_{m5} и седьмой F_{m7} гармоник намагничивающей силы $F_{уд}(t)$ представлены в процентах по отношению к амплитуде первой гармоники F_{m1} . Аналогично представлена третья гармоника B_{m3} магнитной индукции $B(t)$ в процентах по отношению к B_{m1} .

Таблица 1. Результаты расчетов при постоянстве намагничивающей силы подмагничивания

Исходные данные		$I_n/I = 0,8; I_n/I = 0,2; I_{пн}/I_n = 0,7; I_{пп}/I_n = 0,3$							
		$I_s/I = I_{пс}/I_n = 10^{-5}$				$I_s/I = I_{пс}/I_n = 10^{-4}$			
$F_{удп},$ А/см	$B_{m1},$ Тл	$B_{m3},$ %	$F_{m1},$ А/см	$F_{m5},$ %	$F_{m7},$ %	$B_{m3},$ %	$F_{m1},$ А/см	$F_{m5},$ %	$F_{m7},$ %
0	1	1,36	9,74	0,43	0,02	0,17	81,4	0,06	0
75	1	8	24,7	2,41	0,32	0,42	81,9	0,14	0,04
175	1	8,52	38,0	2,25	0,03	2,81	95,2	0,22	0,002
300	1	11,1	69,3	5,41	0,54	3,97	110,5	0,074	0,088
0	1,4	4,49	13,5	0,64	0,19	0,71	107	0,2	0,01
75	1,4	11,3	45,1	5,02	0,43	3,01	120	0,8	0,073
175	1,4	14,4	82,8	8,9	0,41	5,37	145,8	0,51	0,09
300	1,4	13,1	138,4	7,81	1,24	9,58	189,5	2,5	0,82
500	1,4	10,9	220,5	5,5	1,45	9,4	273,6	3,51	0,56

Для сравнения в таблице 2 представлены расчетные данные, полученные в [1] для случая, когда поперечная составляющая индукции в подмагничиваемом участке поддерживается постоянной. Как можно убедиться из сопоставления данных в обеих таблицах, в случае поддержания постоянной намагничивающей силы обмотки подмагничивания наблюдается значительное снижение процентного содержания пятой и седьмой гармоник в токе фазной обмотки.

Таблица 2. Результаты расчетов при постоянстве магнитного потока подмагничивания

Исходные данные		$I_n/I = 0,8; I_n/I = 0,2; I_{пн}/I_n = 0,7; I_{пп}/I_n = 0,3$							
		$I_s/I = I_{пс}/I_n = 10^{-5}$				$I_s/I = I_{пс}/I_n = 10^{-4}$			
$B_n,$ Тл	$B_{m1},$ Тл	$B_{m3},$ %	$F_{m1},$ А/см	$F_{m5},$ %	$F_{m7},$ %	$B_{m3},$ %	$F_{m1},$ А/см	$F_{m5},$ %	$F_{m7},$ %
0	1	1,36	9,74	0,43	0,02	0,17	81,4	0,06	0
1	1	4,26	10,5	0,92	0,04	0,66	82,3	0,22	0,03
1,4	1	11,6	17,3	3,93	0,77	3,36	89,8	0,2	0,13
1,6	1	10,3	26,9	4,02	0,54	3,85	99,3	0,27	0,12
1,8	1	16	56	11,7	5,23	11,6	132	1,35	1,92
0	1,4	4,49	13,5	0,64	0,19	0,71	107	0,2	0,01
1	1,4	13,0	20,2	4,75	2,1	4,37	123	1	0,06
1,4	1,4	14,7	39,4	10,3	0,47	7,01	142	0,81	0,09
1,6	1,4	17,2	78,6	21,5	9,7	13,9	188	4,18	3,64
1,8	1,4	18,1	245,3	20,4	2,4	15,7	348	12,6	0,7

Выводы. 1. Рассмотренная конструкция трехфазного реактора с поперечным подмагничиванием позволяет получить регулирование индуктивности в широком диапазоне. 2. Режим постоянства намагничивающей

щей силы обмотки подмагничивания сопровождается значительно меньшими уровнями гармоник в токе реактора, чем в режиме постоянства магнитного потока подмагничивания. 3. Режим постоянства намагничивающей силы легко реализуем при соединении обмоток подмагничивания, принадлежащих разным фазам, последовательно. В результате сумма ЭДС, наводимых в обмотках переменной составляющей магнитного потока подмагничивания, будет равна нулю, и на источник питания влияние со стороны обмоток будет минимальное. 4. Усиление переменной составляющей магнитного потока подмагничивания может позволить еще больше уменьшить процентное содержание высших гармоник в намагничивающей силе фазной обмотки реактора.

Список использованных источников

1. Ставинский А.А. Трехфазный реактор с радиальным магнитопроводом управляемый поперечным подмагничиванием ярма / А.А. Ставинский, С.М. Новогрецкий, А.А. Прудников // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – м. Кременчук, КрНУ, 2016. – Вип. 2/2016 (34). – С. 71-77.

УДК 518.5: 621.313

Чекунов В. К.

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, г. Николаев

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ОБЪЕДИНЕННЫХ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Интенсивное развитие морского транспорта существенно образом повлияло на современное состояние главных энергетических установок судов. Это привело к применению энергетических установок с использованием электрического движения.

Принципиальное изменение, которое вносится в работу гребных электрических установок переменного тока с использованием преобразователей частоты, заключается в неизменности частоты вращения главных генераторов при изменении скорости вращения винта. Это открывает возможность построения объединенных энергетических установок на базе систем электрического движения переменного тока.

Одной из задач при проектировании является расчет токов короткого замыкания. Токи короткого замыкания в системе могут достигать огромных значений: несколько десятков тысяч ампер. Они представляют большую опасность для элементов электрических устройств. Ток протекая по жилам силовых кабелей, шинам распределительных устройств, по токоведущим частям электрических машин, амперметрам перегревает их сверх нормальной температуры что может повредить изоляцию, разрушить недостаточно прочное в механическом отношении электрооборудование. Для уменьшения последствий короткого замыкания следует применять быстродействующие схемы и аппараты защиты.

В данной работе рассматривается методика расчета токов короткого замыкания на базе стандарта IEC 61363-1-1998.

Расчет предназначен для применения в незамкнутых трехфазных системах переменного тока, которые: работают с частотой 50Гц или 60Гц; имеют один или более различных уровней напряжения; содержат генераторы, двигатели (как синхронные, так и асинхронные), трансформаторы, реактивные катушки, кабели и преобразовательные блоки; имеют нейтральную точку, изолированную от корпуса судна.

Методики расчета применяются для состояния трехфазного симметричного короткого замыкания, то есть когда трехфазные проводники замкнуты друг на друга, или на корпус судна, и когда короткое замыкание возникает на всех трех полюсах одновременно.

Расчетные формулы и описанные методы позволяют получать достаточно точные результаты при расчете тока короткого замыкания в течение первых 100мс короткого замыкания. Данные формулы и методы могут быть использованы для расчета тока короткого замыкания в течение периодов более 100мс при выполнении расчета для системы шин, к которой непосредственно подключены генераторы. Для периодов времени более 100мс, управляющие воздействия регуляторов напряжения системы могут иметь доминирующее значение.

В реальной системе, управляющие воздействия автоматических регуляторов и нелинейность включенных параллельно машин будут влиять на результирующие токи. Точный расчет токов, появляющихся в результате данных воздействий, должен выполняться только с использованием компьютерных методов имитации.

При разработке судовых структурных электрических систем должно предусматриваться выполнение всех возможных мероприятий по предупреждению возникновения токов короткого замыкания. Основной целью расчета токов короткого замыкания является обеспечение способности системы и ее элементов выдер-

живать воздействия короткого замыкания, и, посредством этого, сводить к минимуму любые возможные повреждения. Защита системы от токов короткого замыкания обычно обеспечивается предохранителями и автоматическими выключателями. Принципиальное назначение данных расчетов состоит в том, чтобы обеспечить достаточную информацию для возможности выбора подобных устройств и уверенности, что эти устройства смогут обеспечить необходимую защиту. Дополнительно, данные расчеты могут использоваться при выборе устройств, способных ограничивать ток короткого замыкания до значений, находящихся в пределах возможностей защитных устройств.

Формулы рассчитывают верхнюю огибающую максимальных значений тока короткого замыкания во временной зависимости. Огибающая рассчитывается с использованием характеристических параметров конкретных машин, получаемых от изготовителей оборудования, используя признанные методики испытаний и применяя следующие допущения:

1. всеми емкостными сопротивлениями системы можно пренебречь;
2. в момент возникновения короткого замыкания мгновенное значение напряжения в одной фазе в точке возникновения короткого замыкания нулевое;
3. во время короткого замыкания, путь протекания тока короткого замыкания не меняется;
4. полным сопротивлением дуги короткого замыкания можно пренебречь;
5. трансформаторы установлены в основное положение отключения обмотки;
6. короткое замыкание возникает одновременно во всех трех фазах;
7. для генераторов, включенных на параллельную работу, все генераторы распределяют активную и реактивную нагрузку пропорционально в момент возникновения и в течение короткого замыкания;
8. в течение каждого отдельного временного интервала все элементы цепи оказывают линейное воздействие.

Огибающая тока короткого замыкания обычно описывается в течение первых нескольких миллисекунд с момента возникновения короткого замыкания (сверхпереходный период), в дополнение к последующим миллисекундам (переходный период) и секундам (установившийся период) короткого замыкания. На ток короткого замыкания, производимый синхронным генератором, оказывают большое воздействие характеристики регулятора напряжения данного генератора. Для точного расчета влияния регулятора необходима полная информация по конструкции регулятора, и результирующие уравнения будет нелегко рассчитать. Тем не менее, установившееся значение производимого тока короткого замыкания, принимая во внимание возможности регулятора, как правило, должно определяться из информации, представляемой изготовителем генератора.

Для симметричного трехфазного короткого замыкания, необходимо учитывать только элементы прямой последовательности системы.

Система делится на активные и неактивные элементы. Активные элементы являются источниками тока короткого замыкания, неактивные элементы проводят или преобразуют ток короткого замыкания для распределения его от источника в точку короткого замыкания. Каждый элемент представлен математической моделью, сформулированной из его характеристических параметров.

Имеющие одинаковые номинально допустимые данные, параллельно подключенные элементы, такие как двигатели и генераторы, могут рассматриваться как единая "сосредоточенная" машина. Для выполнения расчета с учетом временной зависимости для системы, включающей несколько разнородных активных элементов, должен применяться метод эквивалентного генератора.

Расчет токов КЗ синхронной машины. Расчет тока короткого замыкания для синхронной машины основывается на определении огибающей максимальных значений реального тока короткого замыкания машины во временной зависимости. Результирующая огибающая является функцией основных параметров машины (мощности, полного сопротивления и др.) и активных значений напряжения ($\underline{E}''$, $\underline{E}'$, $\underline{E}$) при сверхпереходном, переходном и установившемся значениях полного сопротивления машины. Полные сопротивления зависят от условий, при которых машина работала непосредственно перед возникновением состояния короткого замыкания.

Трехфазный ток короткого замыкания возникает, когда все три фазы одновременно замкнуты накоротко друг на друга. Результирующий ток является комплексной функцией, связанной временной зависимостью, возникающей в каждой фазе.

Максимальные значения тока короткого замыкания появляются, когда перед возникновением короткого замыкания машина работала с номинально допустимыми значениями нагрузки, напряжения, частоты и коэффициента мощности.

При расчете тока короткого замыкания, принимаются во внимание только самые большие значения тока. Ток, определяемый верхней огибающей, рассчитывается по формуле:

$$i_k(t) = \sqrt{2} I_{ac}(t) + i_{dc}(t) \cdot (1)$$

Для стандартних випадків, з даної опуклої, як правило, розраховуються три функції: складова змінного струму $i_{ac}(t)$, складова постійного струму $i_{dc}(t)$ і максимальне можливе пікове значення струму i_p .

Функція часу складової змінного струму $i_{ac}(t)$ характеризується перехідними, перехідними і установившимися значеннями струму в часі перехідних, перехідних періодів часу. Дані періоди визначаються перехідною і перехідною постійними часами по довільній осі T''_d і T'_d

$$i_{ac}(t) = (I''_{kd} - I'_{kd})e^{-t/T''} + (I'_{kd} - I_{kd})e^{-t/T'} + I_{kd}. \quad (2)$$

Перехідні і перехідні початкові значення трифазних струмів короткого замикання, I''_{kd} і I'_{kd} можуть бути визначені за допомогою активних напруг при відповідних повних опорах за формулами (3) і (4)

$$I''_{kd} = E''_{q0}/Z''_d = E''_{q0}/(R_a^2 + X''_d)^{1/2}; \quad (3)$$

$$I'_{kd} = E'_{q0}/Z'_d = E'_{q0}/(R_a^2 + X'_d)^{1/2}. \quad (4)$$

$I_{kd} = I_k$ - установився значення струму короткого замикання, визначається, як правило, з інформації, представленої виробником.

Активні напруги E''_{q0} , E'_{q0} залежать від струму попередньої навантаження і можуть бути визначені за формулами (5) і (6), які отримані з векторних рівнянь (7) і (8)

$$E''_{q0} = [(U_0/\sqrt{3} \cos \phi_0 + R_a I_0)^2 + (U_0/\sqrt{3} \sin \phi_0 + X''_d I_0)^2]^{1/2}; \quad (5)$$

$$E'_{q0} = [(U_0/\sqrt{3} \cos \phi_0 + R_a I_0)^2 + (U_0/\sqrt{3} \sin \phi_0 + X'_d I_0)^2]^{1/2}; \quad (6)$$

$$E''_0 = U_0/\sqrt{3} + I_0 Z''_d; \quad (7)$$

$$E'_{q0} = U_0/\sqrt{3} + I_0 Z'_d, \quad (8)$$

де $Z''_d = (R_a + jX''_d)$; $Z'_d = (R_a + jX'_d)$.

Якщо синхронна машина перед виникненням короткого замикання працює з номінальним напругою мережі і номінально допустимим струмом, то $U_0 = U_n$ і $I_0 = I_n$.

Складова постійного струму $i_{dc}(t)$ може бути визначена за формулою (9)

$$i_{dc}(t) = \sqrt{2} (I''_{kd} - I_0 \sin \phi_0) e^{-t/T_{dc}} \quad (9)$$

Пікове значення струму короткого замикання виникає між моментами часу $t=0$ і $t=T/2$ стану короткого замикання. Точний час залежить від умов попередньої навантаження, повного опору генератора і постійних часів. Тим не менше, допускається проводити розрахунок i_p для часу $T/2$, тобто для першого напівперіоду стану короткого замикання за формулою (10)

$$i_p = \sqrt{2} i_{ac}(t) + i_{dc}(t) \quad (10)$$

Розрахунок струмів КЗ асинхронного двигателя. Асинхронні двигатели можуть бути розділені на дві основні групи: великі двигатели і малі двигатели.

Групування залежить як від потужності системного генератора, так і від фактичної номінально допустимої потужності двигателя. Двигатели, приводячі підрулювальні пристрої, насоси, крани і важелі палубних механізмів, зазвичай є "великими", в той час як двигатели, приводячі судові допоміжні системи (перекачка палива, очистителі і др.), є "малими".

При виникненні в системі короткого замикання, всі двигатели, включені в момент виникнення короткого замикання, впливають на струм короткого замикання. Великі двигатели повинні розраховуватися окремо. Малі двигатели можуть групуватися і розглядатися як єдиний еквівалентний джерело.

Активне і реактивне опору двигателя, показані в схемі прямої послідовності, представляють собою активні і реактивні опору статора і ротора, віднесені до напругі статора, тобто при $s=1$

$$R_M = R_R + R_S; \quad (11)$$

$$X''_M = X_R + X_S. \quad (12)$$

Перехідний постійний час T''_M відноситься до швидкого затухання складової змінного струму. Він залежить, головним чином, від ослаблюючого впливу ланки ротора і може бути визначений за формулою (13)

$$T''_M = (X_R + X_S) / \omega_r R_R. \quad (13)$$

Постійний час постійного струму відноситься до затухання апериодическої складової струму короткого замикання. Він залежить, головним чином, від ослаблюючого впливу ланки статора і може бути визначений за формулою (14)

$$T_{dcM} = (X_R + X_S) / \omega_r R_S. \quad (14)$$

Верхня опукла максимальних значень трифазного струму короткого замикання асинхронного двигателя може бути розрахована за формулою (15)

$$i_M(t) = \sqrt{2} i_{acM}(t) + i_{dcM}(t). \quad (15)$$

Составляющая переменного тока зависит от сверхпереходных эффектов машины и может быть рассчитана по формуле (16)

$$I_{acM}(t) = I''_M e^{-t/T''_M}, \quad (16)$$

где значение I''_M может быть рассчитано по формуле (17)

$$I''_M = E''_M / [(R_R + R_S)^2 + (X_R + X_S)^2]^{1/2}. \quad (17)$$

Напряжение E''_M зависит от напряжения на клеммах двигателя, тока нагрузки двигателя и коэффициента мощности во время короткого замыкания. Его значение может быть рассчитано по формуле (18)

$$E''_M = (U_M / \sqrt{3}) - I_M Z''_M, \quad (18)$$

где $Z''_M = R_M + jX''_M$.

Формула (18) в скалярной форме выглядит как уравнение (19).

$$E''_M = [(U_M / \sqrt{3} \cos \phi_M - R_M I_{rM})^2 + (U_M / \sqrt{3} \sin \phi_M - X''_M I_{rM})^2]^{1/2} \quad (19)$$

Составляющая постоянного тока может быть рассчитана по формуле (20).

$$i_{dcM}(t) = \sqrt{2} (I''_M + I_{rM} \sin \phi_M) e^{-t/T_{dcM}}. \quad (20)$$

где $\cos \phi_M$ - коэффициент мощности двигателя.

Пиковое значение может быть рассчитано по формуле (21)

$$i_{pM} = \sqrt{2} I_{acM}(t) + i_{dcM}(t) \quad (21)$$

для значения времени $t=T/2$.

При расчетах необходимо учитывать влияние активных и реактивных сопротивлений неактивных элементов (кабели, трансформаторы, шины).

Допущения для упрощения расчета. Любое упрощение неизбежно влечет за собой ошибки. Соответственно, выбранная степень упрощения будет зависеть от имеющихся данных, но также и от требуемой точности окончательного результата.

Для синхронной машины допущения следующие:

- а) пренебрегать активным сопротивлением статора, незначительная ошибка;
- б) пренебрегать условиями предварительной нагрузки, результаты будут отличаться в пределах 5% и 10%;
- в) пренебрегать переходным затуханием составляющей переменного тока, значительные неточности появляются в пиковом значении тока короткого замыкания;
- г) пренебрегать сверхпереходным и переходным затуханием составляющей переменного тока, значительные неточности появляются в пиковом значении тока короткого замыкания.

Для асинхронных двигателей в качестве первого приближения, может быть принято, что все асинхронные двигатели, включенные при коротком замыкании, оказывают влияние на составляющую переменного тока короткого замыкания и способствуют ее увеличению до значения, равного их пусковому току (обычно в 4...7 раз больше тока при полной нагрузке машины при нормальных рабочих условиях).

Также может быть принято, что влияние двигателя является постоянным в течение всего периода короткого замыкания.

Данные допущения приведут к получению при расчете более высоких значений токов короткого замыкания, чем те, которые возникнут в реальной установке.

Для любого двигателя с номинально допустимой мощностью более 100кВт или 15% мощности нормально подключенного генератора, должны применяться приведенные формулы. В случае недостаточных данных по двигателю, могут использоваться следующие приблизительные значения характеристических параметров двигателя:

а) полное сопротивление двигателя Z''_M (для установок с частотой 50Гц и 60Гц)

$$z''_M = 0,16 \text{ о.е.}; x''_M = 0,15 \text{ о.е.}; r_s = 0,034 \text{ о.е.}; r_R = 0,021 \text{ о.е.}; r_M = r_s + r_R = 0,055 \text{ о.е.}$$

где Z''_M - полное сопротивление заторможенного ротора.

б) постоянные времени при 50Гц, $T''_M = 22,4 \text{ мс}; T_{dcM} = 14,08 \text{ мс}$

в) пренебрежение током предварительной нагрузки

Если током предварительной нагрузки можно пренебречь, используя приведенные выше характеристические параметры, получаем:

$$I''_M = 6,25 I_{rM}; \quad (22)$$

$$I_{acM} = 4,00 I_{rM}, \quad \text{при } t = T/2; \quad (23)$$

$$i_{pM} = 10 I_{rM}. \quad (24)$$

г) использование тока заторможенного ротора двигателя

Если известен ток заторможенного ротора двигателя I_{LR} , может быть принято, что I''_M равен I_{LR} .

Малые двигатели, включенные на одну и ту же шину, могут рассматриваться как единый эквивалентный двигатель, имеющий номинально допустимый ток, равный сумме номинально допустимых токов отдельных двигателей, и подключенный к системе через общую шину данных малых двигателей.

Расчет системы. При расчете системы, необходимо определить значения токов короткого замыкания на: ГРЩ; шинах генератора; распределительных щитах, подключенных к главным генераторным шинам; рас-

пределительных щитах или коммутационных щитах, подключенных к главным генераторным шинам или распределительному щиту и получающих питание через трансформатор.

Расчеты токов короткого замыкания для системы должны охватывать токи короткого замыкания, производимые всеми двигателями и генераторами, подключенными к системе, включая токи на главных генераторных шинах, вторичных коммутационных щитах и распределительных щитах.

1) Для расчета используется программа для определения токов КЗ. Она разработана для применения в среде пакета Mathcad.

Перед расчетом должна быть составлена однолинейная схема СЭЭС, содержащая номинальные данные всех активных и неактивных элементов. Исходные данные для генераторов приведены в табл.1.

Таблица 1. Исходные данные для генераторов

Электрические параметры	G0	G1	G2
S, кВА	600	600	600
U, В	400	400	400
f, Гц	50	50	50
X_d , о.е.	3,14	3,14	3,14
X'_d , о.е.	0,17	0,17	0,17
X''_d , о.е.	0,11	0,11	0,11
I_k , о.е.	6,5	6,5	6,5
T'_d , с	0,08	0,08	0,08
T''_d , с	0,012	0,012	0,012
Ra, мОм	4,30	4,30	4,30

Программа рассчитана для одновременного определения ударного тока только в одной точке. Для задания другой точки необходимо изменить данные коммутационной матрицы в программе, для чего потребуется несколько секунд.

В итоге составляем таблицу результатов расчета токов короткого замыкания в объединенной СЭЭС (табл.2.).

Таблица 2. Результаты расчета токов короткого замыкания в объединенной СЭЭС

Наименование цепи (точка КЗ)	Расчетные значения токов короткого замыкания	
	Ток установившийся	Ток ударный
	кА	кА
Генератор 1	15,87	32,31
Генератор 2		
Генератор 3		
Шины ГРЩ	23,81	49,87
Трансформатор	23,79	40,83
РЩ	23,81	46,45
Секция 230В	17,66	8,62

Кроме численного значения ударных и установившихся токов короткого замыкания программа позволяет получить характеристики затухания токов.

Вывод. Расчет токов короткого замыкания по рассмотренной методике с использованием разработанной позволяет существенно сократить время расчета. Достоверные результаты расчета, полученные по требованиям международного стандарта позволяют качественно проектировать системы защиты.

Список используемой литературы

1. IEC 61363-1-1998 Международный стандарт. Судовые электрические установки и переносные и стационарные наземные блоки.

УДК 621.314

Жук О. К., к.т.н., Жук Д. О., к.т.н., Криворучко Д. В., Савченко О. В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ОЦІНКА СПОТВОРЕНЬ В АВТОНОМНІЙ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ З ГІБРИДНИМ ФІЛЬТРОКОМПЕНСУЮЧИМ ПРИСТРОЄМ

Робота потужних установок з напівпровідниковими перетворювачами (НП) супроводжується спотворенням форми напруги мережі від емісії вищих гармонік і споживанням реактивної потужності на основній гармоніці. Для зменшення негативного впливу зазначених явищ і забезпечення умов електромагнітної сумісності застосовуються активні та гібридні керовані фільтрокомпенсуючі пристрої (КФКП) [1,2,3]. Автономні електроенергетичні системи (АЕЕС) деяких із морських об'єктів містять перетворювачі частоти за схемою «керований випрямляч – інвертор, ведений навантаженням». Таким кінцевим навантаженням є гребні та технологічні синхронні двигуни, потужність яких досягає десятків МВт.

Несинусоїдальність напруги мережі є одним з головних факторів погіршення якості електроенергії, що іноді спричиняє аварії в АЕЕС. Її інтегральний показник визначається коефіцієнтом спотворення синусоїдальності, нормованим вітчизняними і зарубіжними стандартами [4],

$$K_U = \left(\sqrt{\sum_{v=2}^{v_{\max}} U_{S(v)}^2} / U_{S(1)} \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

де $U_{S(1)}$, $U_{S(v)}$ – відповідно діючі значення основної та v -ї гармонік напруги, $v_{\max}$ – найвищий порядок гармонік, що враховуються. Значення $v_{\max}$, прийняті у різних нормативних документах суттєво відрізняються.

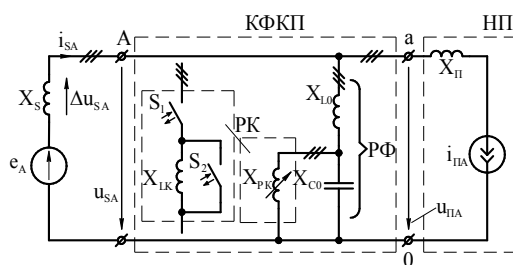


Рис. 1

Однолінійна еквівалентна схема АЕЕС з НП та КФКП для фази А зображена на рис. 1. Генератор (мережа живлення) представлений синусоїдальною ЕРС $e_A = E_m \sin \theta$ і опором к.з. X_S , НП – джерелом періодичного несинусоїдального струму $i_{ПA}$ первинної обмотки і опором к.з. трансформатора $X_П$. Гібридний КФКП складено з резонансного LC-фільтра (РФ) (X_{C0} , X_{L0}) і реакторного компенсатора (РК), який містить реактор з опором X_{LK} та протифазні напівпровідникові ключі з ШІР. При достатньо високій частоті комутації ($f_k = 10 \dots 20$ кГц) РК можна розглядати як еквівалентний регульований індуктивний опір $X_{PK} = X_{LK} / s^2$, де s – шпаруватість ШІР. Завдяки підключенню РК до точки з'єднання індуктивності і ємності РФ останній є одночасно перешкодозахисним ФНЧ по відношенню до РК з ШІР [6].

Порядок частоти налаштування РФ $v_0 = \sqrt{X_{C0} / X_{L0}} \leq m-1$ (m – пульсність НП). Частотна характеристика опору системи відносно вузлів a і 0 має нуль порядку $\xi = \sqrt{X_{C0} (X_{L0} + X_{PK}) / (X_{L0} \cdot X_{PK})}$ та полюс порядку $\mu = \sqrt{X_{C0} (X_S + X_{L0} + X_{PK}) / ((X_S + X_{L0}) X_{PK})}$.

Якщо НП виконано за трифазною мостовою схемою, а обмотки його трансформатора з'єднані однотипно, форму струму $i_{ПA}$ можна розглядати у вигляді блоків рівнобічної трапеції (рис.2) з основами $2\pi/3 \pm \gamma$ і висотою $I_{дП} = I_d / k_T$ (I_d – випрямлений струм, k_T – коефіцієнт трансформації, α і γ – кути керування і комутації).

Припущення лінійного характеру комутації струму не викликає суттєвих похибок, але дозволяє для визначення миттєвого значення напруги мережі u_{SA} застосувати операторний метод окремих складових, розглядаючи струм i_{IIA} як відоме збурення [5]. На основі принципу накладення u_{SA} визначається як різниця двох складових, перша з яких (синусоїдальна) обумовлена джерелом ЕРС e_A , а друга (спотворююча) – джерелом струму i_{IIA}

$$u_{SA} = K_E E_m \sin \Theta - \Delta u_{SA}, \quad (2)$$

де $K_E = X_{L0} (\xi^2 + 1) / ((X_{L0} + X_S)(\mu^2 + 1))$.

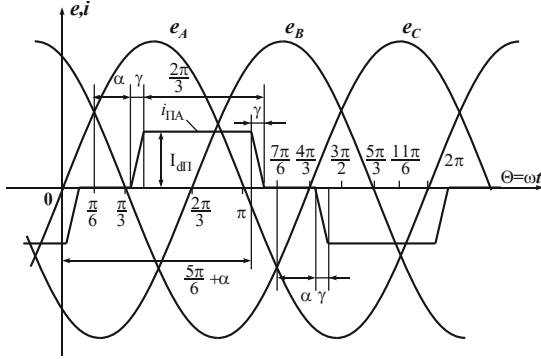


Рис.2

У відповідності з методом окремих складових [7] в усталеному режимі значення Δu_{SA} на кожному N -му інтервалі неперервності струму i_{IIA} визначається згідно з виразом

$$\Delta u_{SA}^{(N)} = \sum_{pz, pl} \text{Res} [Z_{a0}(p) I_{IIA}^{(N)}(p) e^{pt}] - \sum_{pz} \text{Res} [Z_{a0}(p) I_{IIAT}^{(N)}(p) e^{pt}], \quad (3)$$

де $I_{IIA}^{(N)}(p)$, $I_{IIAT}^{(N)}(p)$ – операторні зображення струму i_{IIA} на даному інтервалі як аналітичної і як періодичної функції відповідно; $Z_{a0}(p)$ – еквівалентний операторний опір системи, визначений через індуктивності і ємності її елементів відносно вузлів a і 0 :

$$Z_{a0}(p) = \frac{pL_S [p^2 L_0 C_0 L_{LK} + (L_0 + L_{LK})]}{p^2 C_0 L_{LK} (L_0 + L_S) + (L_0 + L_S + L_{LK})}. \quad (4)$$

Для напруг фаз A і C на інтервалі комутації $\pi/6 + \alpha \leq \Theta \leq \pi/6 + \alpha + \gamma$ виконується співвідношення

$$u_{SA} - u_{SB} = 2 X_{II} di_{IIA} / d\Theta. \quad (5)$$

Рівняння для визначення кута комутації γ одержується шляхом інтегрування (5):

$$\sqrt{3} K_E E_m \sin \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} \right) \sin \frac{\gamma}{2} + \frac{a X_S I_{dII}}{\mu \gamma} M \sin \mu \gamma = (X_{II} + a X_S) I_{dII}. \quad (6)$$

Кут γ не може бути знайдений в явному вигляді безпосередньо з рівняння (6), яке є трансцендентним, проте враховуючи малість кутів γ , зводиться до квадратного, рішенням якого є

$$\gamma = \left(-B + \sqrt{B^2 - 4AC} \right) / 2A, \quad (7)$$

де $A = (\sqrt{3}/4) K_E E_m \cos \alpha$; $B = (\sqrt{3}/2) K_E E_m \sin \alpha$; $C = -(X_{II} + a X_S \mu^2 / \xi^2) I_{dII}$.

На підставі рівності Парсеваля вираз (1) можна зобразити в скінченній формі, що дозволяє при визначенні коефіцієнта спотворення синусоїдальності напруги врахувати весь гармонічний спектр:

$$K_U = \left(\sqrt{\Delta U_S^2 - \Delta U_{S(1)}^2} / U_{S(1)} \right) \cdot 100\%, \quad (8)$$

де ΔU_S і $\Delta U_{S(1)}$ – відповідно повне діюче значення і діюче значення основної гармоніки спотворюючої складової Δu_S фазної напруги.

Оскільки зазначена складова для фази A як кусково-неперервна функція вже визначена за половину періоду (табл.1), то

$$\Delta U_S^2 = \frac{1}{\pi} \int_{\pi/6+\alpha}^{7\pi/6+\alpha} \Delta u_{SA}^2 d\Theta. \quad (9)$$

Діючі значення основних гармонік напруги мережі та її спотворюючої складової визначаються наступним чином

$$U_{S(1)} = K_E \left[\left[E - X_S I_{II(1)} \sin \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} \right) \right]^2 + \left[X_S I_{II(1)} \cos \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} \right) \right]^2 \right]^{1/2}, \quad (10)$$

$$\Delta U_{S(1)} = K_E X_S I_{II(1)}, \quad (11)$$

де $I_{II(1)} = (\sqrt{6}/\pi) I_{dII} \sin(\gamma/2) / (\gamma/2)$; $E = E_m / \sqrt{2}$ – відповідно діючі значення основної гармоніки струму, споживаного НП, і ЕРС джерела.

Дослідження MATLAB-моделі системи. Параметри АЕЕС та КФКП: $S_s = 1 \text{ MBA}$, $U_s = 220 \text{ В}$, $X_s = 0,02 \text{ Ом}$, $X_{II} = 0,01 \text{ Ом}$, $I_{dnom} = 1400 \text{ А}$, $U_{dnom} = 440 \text{ В}$, $k_T = 1$, $X_{C0} = 0,227 \text{ Ом}$, $X_{L0} = 9,07 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$, $X_{LK} = 0,218 \text{ Ом}$, $f_k = 19800 \text{ Гц}$.

Досліджувались два режими НП:

Режим 1: $\alpha = 30^\circ$, $I_{dII} = 1400 \text{ А}$; **Режим 2:** $\alpha = 60^\circ$, $I_{dII} = 1400 \text{ А}$

На рис. 3 а, б наведені графіки напруги u_s і струму i_s джерела одержані в результаті моделювання режиму 2 в системі при наявності КФКП. Для порівняння показано також графік u_s , побудований за результатами аналітичних розрахунків.

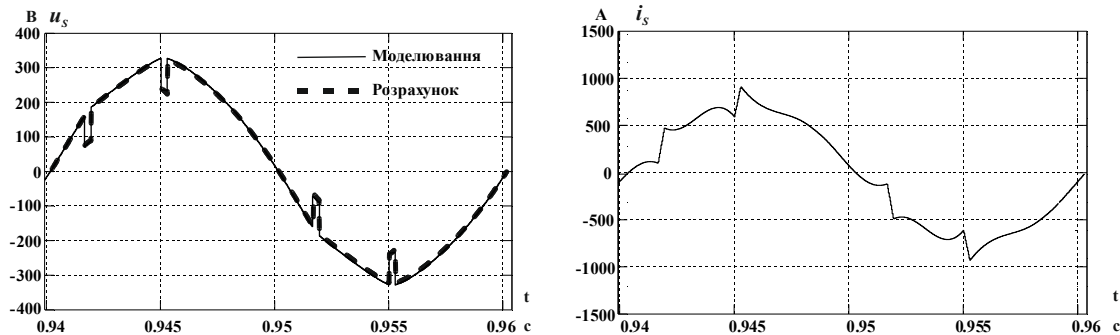


Рис. 3

Слід зазначити, що розрахунок K_U згідно з (1) за загальноживаною спрощеною методикою на основі припущення миттєвої комутації [8] призводить до майже двохразового завищення результату порівняно з реальним значенням. Похибка обумовлена тим, що в разі зазначеного припущення гармоніки напруги визначаються виразом

$$U_{S(v)} = v^{-1} \left[(vX_s)^{-1} + \left[vX_{L0} - \left[(vX_{PK})^{-1} - v / X_{C0} \right]^{-1} \right]^{-1} \right] \cdot \sqrt{6} I_{dII} / \pi \quad (12)$$

та утворюють розбіжний ряд.

Висновки. На основі перетворення Лапласа виконано аналіз електромагнітних процесів в АЕЕС з НП та КФКП з урахуванням взаємного впливу елементів системи та одержані вирази для коефіцієнта спотворення синусоїдальності напруги в скінченній формі, яка враховує весь гармонічний спектр.

Запропонований метод є достатньо загальним і прийнятним для АЕЕС як з КФКП, а також придатним для подальшого теоретичного аналізу якості напруги в залежності від схемних і режимних параметрів системи.

Перевірка на MATLAB-моделі підтверджує достовірність одержаних аналітичних виразів і ефективність КФКП: K_U знижується майже в три рази при повній компенсації реактивної складової струму i_s .

Список використаних джерел

1. Стогній Б.С., Кириленко, О.В. Денисюк С.П. Интеллектуальные электрические сети электроэнергетических систем та їхнє технологічне забезпечення // Технічна електродинаміка. — 2010. — № 6. — С. 44-50
2. Жаркін А.Ф., Новський В.О., Малахатка Д.О. Гібридні фільтрокомпенсуючі перетворювачі для трифазних систем з нелінійними та змінними навантаженнями // [Технічна електродинаміка](#). - 2015. - № 4. - С. 48-52.
3. Михальський В.М., Соболев В.М., Чопик В.В., Шаповал І.А.. Стратегія мінімізації небажаних складових миттєвої потужності із застосуванням різних топологій паралельних активних фільтрів // Техн. електродинаміка. — 2014. — N1 — С.41-50.
4. Жаркин А.Ф., Новский В.А., Палачев С.А. Нормативно-правовое регулирование качества электрической энергии. Анализ украинских и европейских законодательных актов и нормативно-технических документов. — К: Институт электродинамики НАН Украины, 2010. — 167с.
5. Жук А.К. Анализ влияния сетевых фильтров на несинусоидальность напряжения в автономных электроэнергетических системах с тиристорными преобразователями // Техн. електродинаміка. Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність». Частина 2. — 2004 — С. 93 – 98.
6. Жук О.К., Жук Д.О., Криворучко Д.В. Керований фільтрокомпенсуючий пристрій. Патент на корисну модель №120790 від 27.11.2017. Бюл.№22.
7. Атабеков Г.И. Основы теории цепей: Учебник. 3-е изд. стер. — СПб.: Изд. «Лань», 2009. — 432с.
8. Абрамов Б.И., Парфенов Б.М., Шевырев Ю.В. Методы выбора параметров фильтрокомпенсирующих устройств ступенчатого типа для тиристорных электроприводов в системах соизмеримой мощности // Электротехника. - 2001, - №3. — с. 38-42.

СЕКЦІЯ 4. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА

УДК 004.056.5

*Козирев С. С., к.т.н., Кравченко Д. О.**Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв***СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ ВРАЗЛИВОСТЕЙ**

Актуальність роботи обумовлюється відсутністю єдиних надійних алгоритмів та програмних рішень, призначених для моніторингу інформаційної безпеки комп'ютерних мереж та виявлень їх вразливостей.

В роботі проведено дослідження й випробування методів моніторингу інформаційної безпеки комп'ютерних мереж та програмного забезпечення для моніторингу мереж. Проведено аналіз та порівняння наявного програмного забезпечення для моніторингу інформаційної безпеки комп'ютерної мережі з метою виявлення програм з найбільш повним звітом. Результати порівняльного аналізу програмних продуктів для виявлення вразливостей комп'ютерних мереж представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Показники	MaxPatrol	Internet Scanner	Retina	Nessus	Shadow Security Scanner	NetClarity Auditor
Ідентифікація сервісів і додатків, бали	108	66	80	98	79	54
Знайдено вразливостей, всього	163	51	38	81	69	57
З них помилкових спрацьовувань (false positives)	8	3	4	7	36	14
Знайдено правильно (з 225 можливих)	155	48	34	74	33	43
Пропуски (false negatives)	70	177	191	151	192	182
З них по причині відсутності в базі	63	170	165	59	150	179
З них викликані необхідністю аутентифікації	0	6	16	36	0	0
З інших причин	7	1	10	56	42	3

За результатами аналізу виділено дві програми Nessus, MaxPatrol та XSpider, які мають наступні переваги:

- пошук вразливостей у захисті системи та мережі;
- найбільш повна база можливих загроз;
- сканування мережних пристроїв, операційних систем, баз даних, веб-додатків, віртуальних і хмарних середовищ;
- налаштування звітів для сортування по вразливості;
- перевірка на вразливість серверів зі складною нестандартною конфігурацією;
- перевірка на вразливість портів;
- можливість виявлення вразливостей в RPC-сервісах і визначення детальної конфігурації комп'ютера в цілому.

Проведено дослідження згенерованих звітів програмами XSpider, Nessus з метою виявлення унікальної інформації для компонування результатів роботи у найбільш повний звіт. Розроблено алгоритм агрегації окремих звітів, які генеруються окремими програмами моніторингу, у загальний найбільш інформативний звіт (рис. 1).

Алгоритм складається з двох циклів. Перший цикл запускає по чергові всі наявні програми моніторингу інформаційної безпеки комп'ютерної мережі та зберігає згенеровані кожною програмою звіти, а також відправляє повідомлення адміністратору про невдалий запуск якоїсь з програм моніторингу.

Другий цикл алгоритму перевіряє наявність згенерованих звітів наявними програмами моніторингу та виконує синтаксичний аналіз існуючих звітів. Після чого відбувається генерація агрегованого повного найбільш інформативного загального звіту про інформаційну безпеку комп'ютерної мережі, який відправляється адміністратору мережі.

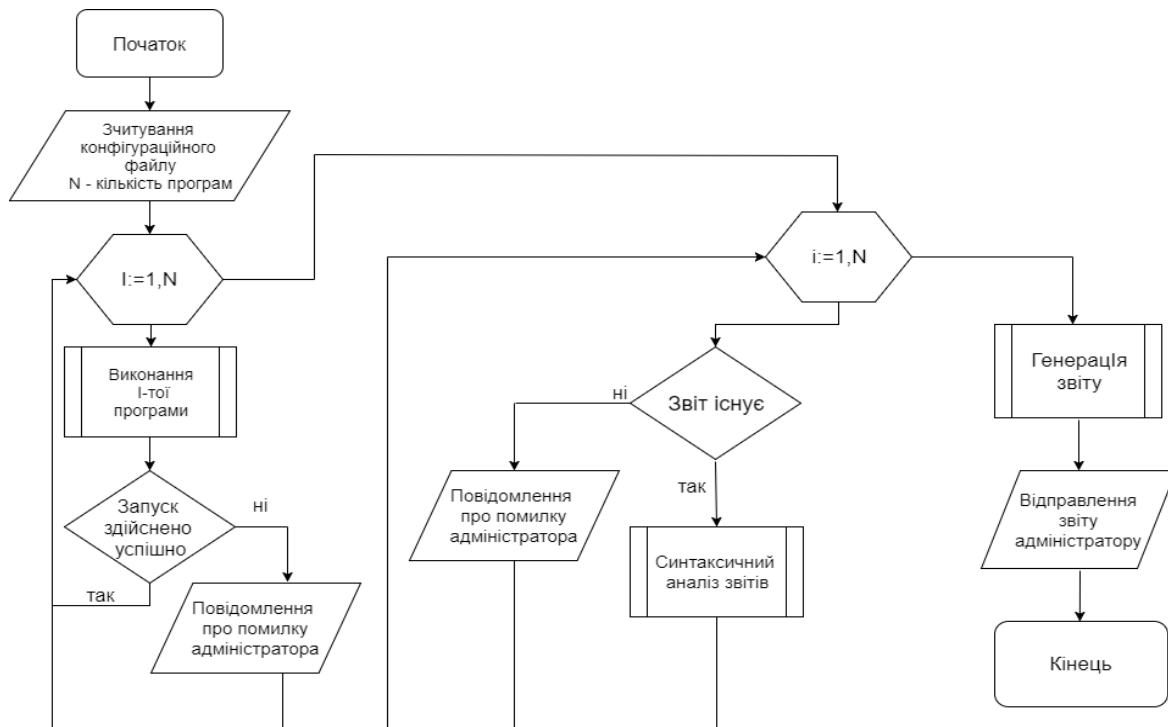


Рис. 1. Алгоритм генерації агрегованого повного найбільш інформативного загального звіту про інформаційну безпеку комп'ютерної мережі

Висновки. Розроблена система моніторингу комп'ютерної мережі на основі звітів, які генеруються програмами Xspider, Nessus. Проведено дослідження згенерованих звітів і виявлення унікальної інформації з метою об'єднання всіх звітів в один максимально повний звіт. Розроблено алгоритм агрегації окремих звітів у загальний найбільш інформативний звіт.

Список використаних джерел

1. Інформаційний ресурс дослідницької групи "CNews Analytics" (<http://www.cnews.ru/>).
2. Інформаційний ресурс дослідницького центру "DataPro Research Corporation" (<http://www.datapro.com/>).

Гребень Л. Р.

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

АНАЛІЗ ТА ВИБІР ЗАХИСНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ РІЗНИХ ВИДІВ БРАУЗЕРІВ

Інформація набуває статусу одного з найцінніших ресурсів для розвитку як окремих галузей, так і економіки країни загалом. Одним із головних об'єктів охорони стали інформаційні ресурси та технології. У зв'язку з цим почали активно розвиватись науки охоронно-захисного напрямку (криптографія, криптоаналіз, стеганографія тощо).

Для захисту інформації, що має високу цінність, використовуються сучасні криптографічні алгоритми. У той же час, для менш цінної інформації та у задачах, для яких критичним є час перетворень, можуть використовуватись простіші, проте значно швидші і легші у реалізації алгоритми, наприклад, алгоритми поліабеткової заміни. Дана робота присвячена розвиненню методики порівняння за часовою працездатністю сучасних стандартизованих та позастандартних алгоритмів з можливістю вибору оптимального за складністю.

У зв'язку зі зростанням рівня кіберзлочинності та пов'язаною з ним необхідністю впроваджувати захисні рішення у мережі захисні ресурси, зокрема: криптографічні перетворення даних. При цьому необхідне дослідження які криптографічні перетворення є оптимальними щодо різних браузерів, операційних систем, архітектури апаратної частини, тощо.

Метою роботи є розвинення та випробування методики встановлення часової складності програмних реалізацій криптоалгоритмів для різних обчислювальних засобів з різної архітектурою, швидкодією, операційною системою, розрядністю.

Сучасні криптографічні алгоритми мають досить широкий перелік створених бібліотек та готових програмних реалізацій різними мовами програмування. Вимогами довільного конкурсу криптографічних розробок передбачається її подання у вигляді готового програмного модуля. Відповідно, для таких алгоритмів найбільш доцільно використати авторські (чи погоджені) реалізації, що є доступними для усіх користувачів. До таких реалізацій можна віднести мережну колекцію *CryptoJS*, а також Інтернет-сторінки авторів алгоритмів. У зазначений спосіб було використано алгоритми *RC4*, *Rabbit*, *DES*, *Triple DES*, *AES*, *Blowfish* та *ГОСТ 28147-89*.

Для аналізу було реалізовано 14 криптографічних перетворень. З них 7 – сучасні блокові шифри, реалізація яких забезпечена підключенням скриптових бібліотек вільного поширення. Решта 7 – текстові шифри, що були розроблені значно раніше. Їх було реалізовано у вигляді окремих функцій.

У якості обчислювача було використано *Fujitsu Windows 7 PC (Intel® Pentium® CPU B960)* на базі ОС *Windows 7*, *LG PC (Intel® Pentium® CPU G4400 @ 3,30GHz)* на базі ОС *Windows 10 Pro/Linux Mint* та у додатку А обчислення, з використанням інших комп'ютерів: *ASUS X540S (Intel® Celeron® CPU N3050 @ 1,60GHz)*, *ASUS PC (AMD Athlon™ II X2 250 Processor 3,00GHz)*, *LG PC (AMD Athlon™ II X4 635 Processor 2,90GHz)*.

Наявність принципової відмінності часової складності в залежності від типу браузера, на якому виконуються одні і ті ж коди. Для найпростіших перетворень з транспозицією спостерігається найбільша відмінність – понад 10 разів за середнім часом.

Для більш працездатних алгоритмів відмінність менша, проте спостерігається відносна зміна взаємного відношення часової складності. Так, для браузера *Google Chrome* класичний шифр Віженера (з повною абеткою) має більшу часову складність, ніж більш сучасний *DES*, тоді як для *Internet Explorer* спостерігається протилежна ситуація. Це може свідчити про різні співвідношення часу виконання бітових та текстових операцій різними браузерами і обґрунтовує перспективи подальших досліджень.

Для аналізу впливу розрядності архітектури на часову складність алгоритмів було виконано подібні зазначеним вище дослідження для ПК *Intel Pentium*, архітектура x64, 2x1,8GHz, RAM 4 Gb, операційна система відповідної розрядності – *Windows 8.1*. *Fujitsu Windows 7 PC (Intel® Pentium® CPU B960)* на базі ОС *Windows 7*, *LG PC (Intel® Pentium® CPU G4400 @ 3,30GHz)* на базі ОС *Windows 10 Pro/Linux Mint* та у додатку А обчислення, з використанням інших комп'ютерів: *ASUS X540S (Intel® Celeron® CPU N3050 @ 1,60GHz)*, *ASUS PC (AMD Athlon™ II X2 250 Processor 3,00GHz)*, *LG PC (AMD Athlon™ II X4 635 Processor 2,90GHz)*.

Як можна помітити, час виконання класичних алгоритмів браузерами *Google Chrome* залишається співвимірним (у межах відмінностей між частотами ядер процесорів). У той же час, спостерігається зростання часу виконання бітових алгоритмів. Найбільш помітна відмінність для алгоритму *Blowfish* – понад 2 рази. Це може свідчити про недостатню адаптованість криптоалгоритмів до 64-бітної архітектури.

Для браузера *Internet Explorer* зміна архітектури не змінює взаємне співвідношення часів виконання алгоритмів. Усі величини знаходяться у межах відхилень, що задаються похибкою та відмінністю у швидкодії досліджуваних комп'ютерів.

Взаємне співвідношення часів виконання різних криптоалгоритмів демонструє діаграма на рис.1, побудована за отриманими даними. Як видно, часові показники відрізняються майже у 100 разів. Що дозволяє оптимізувати швидкодію інформаційних ресурсів з криптозахисту у широких межах. Для браузера *K-Meleon* спостерігається екстремальне зростання часової складності, майже у 10 разів, для інших браузерів відрізняється близько 3 разів, найшвидший *Internet Explorer* – близько 0,5 мс. Повільніший *Safari* 1,5 мс.

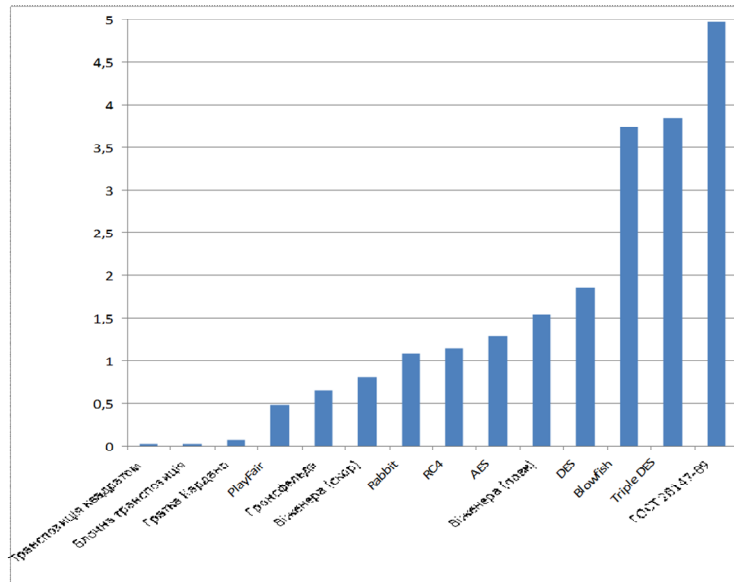


Рис.1

З урахуванням того, що дані про операційну систему та тип браузера передаються у складі запиту на сайт, сервер має змогу обрати найкраще з криптографічних перетворень для кожної конкретної ситуації. Виграш від такого вибору відповідає скороченню у рази часу криптографічних перетворень.

Отже, з огляду на високу популярність мережних технологій і актуальність для них задач криптографії, створено обчислювальні програми дослідження складності алгоритмів для клієнт-серверної архітектури.

Показано, що співвідношення часової складності різних алгоритмів знаходиться у досить широких межах (у два порядки), що дозволяє обирати найбільш оптимальний з них для умов конкретної задачі чи обмежень на працездатність чи час виконання перетворення.

Виявлено відмінності часової складності алгоритмів в залежності від типу браузера, на якому виконуються одні і ті ж коди. Для найпростіших перетворень з транспозицією спостерігається найбільша відмінність – понад 10 разів за середнім часом.

Список використаних джерел

1. Biryukov, Alex and Khovratovich, Dmitry [Related-key Cryptanalysis of the Full AES-192 and AES-256](#) 5912Advances in Cryptology – ASIACRYPT 2009 (2009). — DOI:10.1007/978-3-642-10366-7 1.
2. ["ISO/IEC 18033-3:2010 Information technology — Security techniques — Encryption algorithms — Part 3: Block ciphers"](#). Iso.org. 2010-12-14. Retrieved 2011-10-21

УДК 004.056

Сидорович С. В., Самойленко Д. М., к.ф.-м.н.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

АНАЛІЗ МЕРЕЖНИХ РЕСУРСІВ ЩОДО ВРАЗЛИВОСТЕЙ ДОСТУПНОСТІ ТА АВТЕНТИЧНОСТІ

Сучасний етап розвитку суспільства характеризується зростаючою роллю його інформаційної сфери, що представляє собою сукупність мережних інформаційних ресурсів (МІР), інформаційної інфраструктури, системи формування, поширення, використання інформації та регулювання виникаючих при цьому громадських відносин. Незахищеність інтересів громадян, суспільства і держави в інформаційній сфері є самостійною загрозою безпеки України.

КСЗІ повинна забезпечувати реалізацію вимог із захисту цілісності та доступності розміщеної на WEB-сторінці загальнодоступної інформації, а також конфіденційності та цілісності технологічної інформації WEB-сторінки, розглянуті вразливості якраз і порушують ці критерії, тобто DOS-атаки порушують доступність а ін'єкційні атаки порушують цілісність.

Атаки на відмову в обслуговуванні (DOS) і являють собою великий клас мережних атак що класифікуються за різними ознаками для детального аналізу була обрана атака F5, як одна з найпростіших в реалізації проте є доволі небезпечною, а закладається вона в затисканні клавіші F5.

Щоб зрозуміти про яку кількість запитів йде мова у F5 атаці був реалізований тестовий варіант такої атаки на даний МІР, який показав, що після затискання клавіші F5 на 1 хв, кількість рядків у БД збільшилась на 380, якщо таку маніпуляцію провести протягом 24 годин то результат буде приблизно 500000. Також цей результат може буди іншим відповідно до інтенсивності оновлень сторінки та кількості залучених пристроїв.

Щоб запобігти такій уразливості, достатньо вбудувати у сайт код який видає запит на оновлення сторінки (рис. 1).

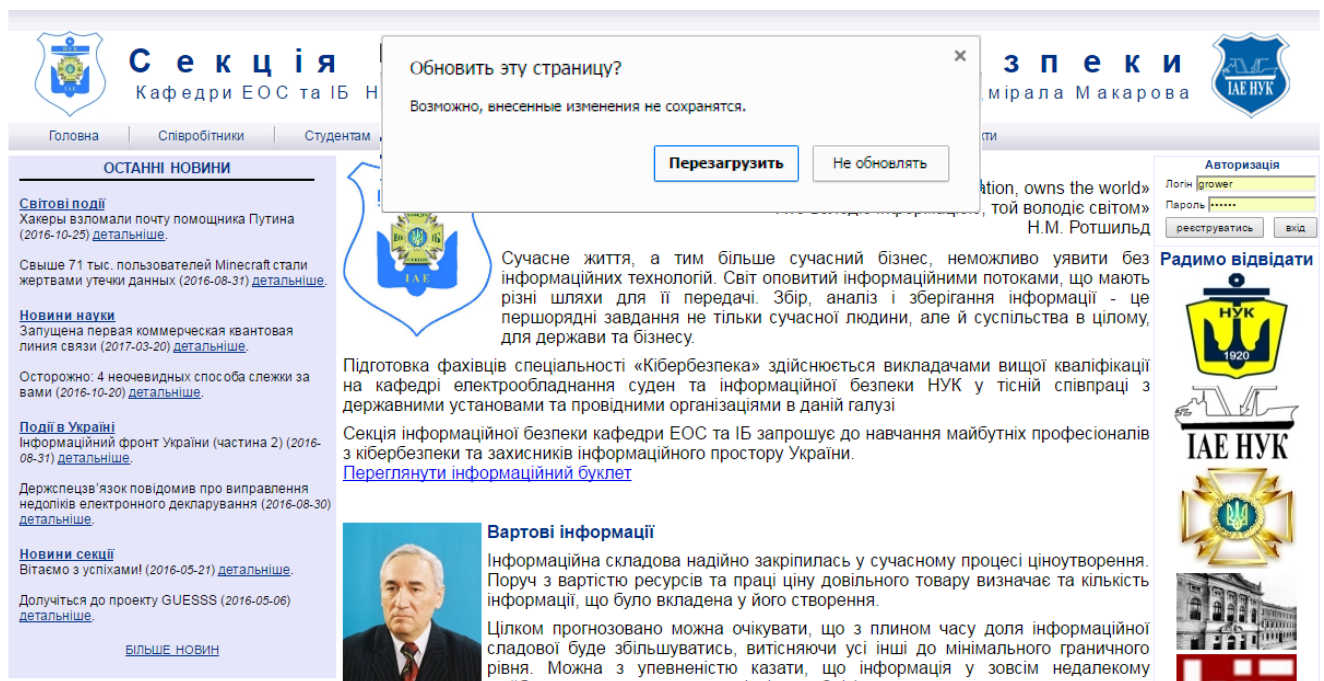


Рис. 1

Наступним етапом удосконалення КСЗІ став захист від SQL-ін'єкцій. Цю проблему було вирішено за допомогою використання підготовлених запитів, за які відповідає окремий клас в СУБД `mysql_stmt`. При використанні підготовлених запитів, в яких змінюються лише дані, запит передається на сервер тільки один раз, в подальшому надсилаються лише змінені дані. Для перевірки такої вразливості було створено таблицю `drop_table`, при використанні запиту таблиця буде видалена:

```
$name= "Ivan"); DROP TABLE drop_table;";
$sql = "INSERT INTO `test` (`name`) values('{$name}')";
$stmt = $db->prepare($sql);
$stmt->execute();
```

Щоб цього уникнути був реалізований захист через використання підготовлених запитів. В даному випадку СУБД закеширує запит і буде тільки підставляти нові параметри замість знака питання, що унеможливить даний вид атаки. І якщо виконати той самий запит, тоді до таблиці буде йти запис `Ivan`);

```
DROP TABLE drop_table;
$sql = "INSERT INTO `test` (`login`) values(?);";
$stmt = $db->prepare($sql);
$stmt->execute([$name]);
```

Щоб захиститися від XSS атак і усунути всі можливі XSS уразливості, досить перед роботою з вхідними даними пропустити їх через фільтр і замінити всі небезпечні спецсимволи безпечними:

```
$filter = array("<", ">");
$_GET['q']=str_replace ($filter, "", $_GET['q']);
```

Цих двох маленьких рядків коду досить для уникнення великих проблем. Тепер якщо спробувати впровадити ін'єкцію через адресний рядок або форму введення ніякої шкоди неможливо буде нанести оскільки всі дужки в змінній `$_GET['q']` будуть замінені на безпечні символи в даному випадку `<|>`, і JS стане нездійсненним оскільки JavaScript починається і закінчується тегами `<script>`, а як відомо, теги складаються з трикутних дужок.

Зараз показаний спосіб захисту тільки однієї змінної, для повного захисту необхідно пропускати усі вхідні дані через такий фільтр.

Щоб цього не робити і випадково не пропустити якусь зміну без фільтрації була реалізована функція для масової перевірки усіх вхідних даних, методами POST і GET.

```
function defender_xss($arr){
    $filter = array("<", ">");
    foreach($arr as $num=>$xss){
        $arr[$num]=str_replace ($filter, "", $xss);
    }
    return $arr;
}
$_REQUEST=defender_xss($_REQUEST);
```

Висновки. Проведено аналіз МІР, який виявив вразливості на порушення доступності та конфіденційності інформації. Проти чого були впроваджені захисні рішення які добре виконують поставлену перед ними задачу.

С тенденціями розвитку ІТ необхідність полягає в створенні безпечних умов функціонування, як для користувачів так і для власників, що показує необхідність в розвитку як нормативної так і захисної бази.

Список використаних джерел

1. НД ТЗІ 1.1-002-99 Загальні положення щодо захисту інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу, затверджений наказом ДСТСЗІ СБ України від 28.04.1999 № 22.
2. Закон України Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах. – Відомості Верховної Ради України. – 1994, № 31, стаття 286.
3. НД ТЗІ 2.5-004-99 Критерії оцінки захищеності інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу, затверджений наказом ДСТСЗІ СБ України від 28.04.1999 № 22.
4. Закон України Про інформацію. – Відомості Верховної Ради України. – 1992, № 48, стаття 650.
5. Закон України Про доступ до публічної інформації. – Відомості Верховної Ради України. – 2011, № 32, стор. 1491, стаття 314.
6. Mirkovic J. A taxonomy of DDoS attack and DDoS defense mechanisms / J J Mirkovic, P Reiher // ACM SIGCOMM Computer Communication. – 2004. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/profile/Peter_Reiher/publication/2879658_A_taxonomy_of_DDoS_attack_and_DDoS_defense_mechanisms/links/02e7e51d1ce0432910000000.pdf.
7. Sah JJ. Impact of DDOS attacks on cloud environment / JJ Sah, DLJ Malik // IJRCCT. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <http://ijrcct.org/index.php/ojs/article/download/276/pdf>.

8. Почепцов, Г. Смыслові та інформаційні війни: пошук відмінностей [Електронний ресурс] / Медіаграмотність. Режим доступу <http://osvita.mediasapiens.ua/print/material/16366> – Назва з екрану.
9. Раскин, Д. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. [Текст] / Раскин Д. – СПб: Символ-плюс, 2010 – 272с.
10. Самойленко, Д. М. Методика встановлення семантичної складності завдань. [Текст] : Матеріали всеукраїнської НТК з міжнародною участю «Проблеми автоматизації та електрообладнання транспортних засобів» (квіт. 2013) / Отв. ред. О. В. Нікітіна. – Миколаїв: НУК, 2013. – с. 19-22.
11. Fodor, J. Concepts: Where Cognitive Science Went Wrong. [Текст] / Jerry A. Fodor. – Oxford: Clarendon Press, 1998. – 174 p.
12. Величковский, Б. М. Когнитивная наука: Основы психологии познания: в 2 т. [Текст] / Величковский Б. М. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 448 с.
13. Eysenck, M. Cognitive Psychology (Fourth Edition). [Текст] / M. Eysenck, M. Keane. – Hove and New York: Psychology Press, 2005. – 703 p

УДК 004.056

Нечуєв Д. О.

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

АЛГОРИТМ АТАКИ НА ПРОТОКОЛ КЕРУВАННЯ БЕСПІЛОТНИМИ АПАРАТАМИ DSMx

Сьогодні однією з найбільш актуальних проблем є захист повітряного простору над контрольованою зоною від безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Попит на БПЛА зростає з кожним роком, від аматорських дронів з невеликою дальністю та тривалістю польоту призначених для фото та відео зйомки до БПЛА військового призначення призначених для розвідки та наведення артилерійських розрахунків. Проблема боротьби з БПЛА постійно ускладнюється через захист каналів зв'язку з дроном за допомогою криптоалгоритмів та використання протоколів стійких до радіоперешкод. Таким чином постає необхідність у дослідженні методів виявлення та перехоплення БПЛА, що порушують кордони контрольованих зон. В межах даної роботи ми будемо розглядати методи виявлення вразливостей протоколів керування безпілотними апаратами на основі протоколу передачі пакетів DSMx та способу перехоплення дрону, що використовує дану пакетну технологію за допомогою атаки за часом.

Основним методом для виявлення вразливостей є зворотна розробка. Зворотна розробка (англ. reverse engineering) – дослідження деякого пристрою чи програми з метою розуміння принципів роботи досліджуваного об'єкта. Найчастіше використовується з метою створення об'єкта, за функціональністю аналогічного досліджуваному але без точного копіювання його функцій. Зазвичай використовується у випадках, коли розробник оригінального пристрою чи програми не надає точних відомостей про алгоритми функціонування виробу, або будь-яким чином намагається завадити використанню технологій, що задіяні його функціоналом.

У наш час зворотна розробка найширше вживається для аналізу програмного забезпечення з закритими вихідним кодом. При цьому людина, що використовує даний метод дослідження, аналізує машинний код програми (зазвичай в дизасембльованому вигляді) та складає алгоритм функціонування програмного забезпечення для подальшої реалізації в окремому продукті або відтворює його у відповідних специфікаціях.

Дослідження програм часто використовують з метою подальшої їхньої модифікації, розширення функціоналу або створення засобів, що дозволяють обходити обмеження на їхнє використання (наприклад умовно-безкоштовні програми). Також такі методи можуть використовуватися для отримання специфікації протоколів обміну інформацією (наприклад мережових протоколів) або способів її зберігання (формати файлів).

Зворотна розробка програмного забезпечення зазвичай проводиться такими методами:

Моніторинг активності. Таким способом найчастіше проводиться дослідження протоколів обміну інформацією. Наприклад для дослідження мережових протоколів може використовуватися перехоплення потоків даних в мережі за допомогою спеціалізованих програмних чи/та апаратних засобів. Цей метод може не дати повного уявлення про алгоритми функціонування програмного забезпечення.

Дизасемблювання. Машинний код програми читається та перекладається мовою асемблера для свого розуміння в чистому вигляді. Таким способом можна досліджувати будь-яке програмне забезпечення, але за допомогою використання певних технологій при розробці програмного забезпечення дизасемблювання можна значно ускладнити. Метод вимагає високої кваліфікації людини, що проводить зворотну розробку та великих затрат часу.

Декомпіляція. Полягає у перекладі машинного коду програми мовою високого рівня. Метод важко реалізувати з огляду на складність створення інструментів.

Зворотну розробку протоколу DSMx необхідно почати з вивчення схемотехнічної бази реалізації протоколу. Для цього необхідно виділити ключові компоненти у трансиверах, що працюють з даним протоколом та дослідити їх специфікації, це дозволить знайти як типові вразливості схемотехнічної бази, так і деякі особливі вразливості притаманні виключно для даного пристрою. Наступним кроком виконується моніторинг активності робочих трансиверів у лабораторних умовах і на основі спостережень складається алгоритм роботи протоколу. Аналізуючи алгоритм знаходяться вразливості, що можуть бути використані для проведення атаки на протокол.

DSMX протокол – це один з протоколів передачі даних по радіоканалу, використовується при передачі на частоті 2,4 ГГц. Переваги даної технології у великій кількості каналів передачі даних та у прогресивному алгоритмі кодування та зміни каналів. У разі завади на певній частоті даний алгоритм роботи протоколу швидко змінить частоту передачі, що дозволить не втрачати зв'язку між передавачем та приймачем. Даний протокол використовується у апаратурі марки Spektrum, в основному це лінійка недорогих, але високо функціональних приладів радіо керування. Даний протокол працює на основі мікросхеми CYRF6936. При формуванні радіосигналу використовуються псевдовипадкове перестроювання робочої частоти (FHSS), множинний доступ з кодовим розділенням каналів (CDMA), метод прямої послідовності для розширення спектру (DSSS) та Гаусівська частотна маніпуляція (GFSK).

При перехопленні керування БПЛА необхідно перехопити керуючий сигнал від основного приладу керування для цього необхідно мати програмно-визначальну радіосистему (SDR). SDR – система радіозв'язку, в якій програмне забезпечення використовується як для модуляції, так і для демодуляції радіосигналів. При використанні SDR персональний комп'ютер стає ядром любительської радіостанції, завдяки чому весь обсяг робіт із обробки сигналу перекладається на програмне забезпечення. Таке обладнання дозволяє гнучко обробляти радіосигнал, модифікувати його та ретранслювати.

Для перехоплення пакетів DSMX можна використовувати плату Nuand BladeRF у якості SDR. Дана плата має у своєму складі тактовий генератор з можливістю програмування Silicon Labs Si5338, мікроконтролер Cypress CYUSB3014 FX3, над велика інтегральна схема Altera Cyclone IV E FPGA, радіочастотний трансивер Lime Microsystems LMS6002D. Для кодування сигналу в бітовій формі використовується манчестерський код. Для DSSS використовується операція XOR з бітами псевдовипадкового шуму.

Пакет технології DSMX складається з преамбули (P), початок пакету 1 (SOP1), початок пакету 2 (SOP2), довжини пакету (L), інформаційної частини (Data) та циклічного надлишкового коду (CRC16). Преамбула – послідовність, що транслюється на початку пакету, її головна задача синхронізувати приймач з кадром, що надходить. SOP1 та SOP2 (Start of Packet) – передають інформацію про режим передачі даних. Data – дана частина пакету містить керуючу інформацію, можлива нульова довжина пакету, максимальна довжина 40 байтів, для режиму передачі 64-chip DDR максимальна довжина 16 байтів. CRC16 існує для перевірки на наявність помилок при передачі, дане поле створюється на основі довжини інформаційного поля.

Першим кроком необхідно просканувати ефір у пошуках певної преамбули необхідного пакету та передати прийнятий пакет в програмне забезпечення для обробки сигналів. Далі зважаючи на швидкість передачі пакету та довжини SOP за таблицями визначимо режим передачі даних в нашому випадку 64-chip 8DR. Кожний пристрій має свій унікальний SOP-код, за цим кодом приймачі визначають кому призначається пакет. Наступним полем, що необхідно проаналізувати є поле довжини пакету. Дане поле довжиною в один байт зашифроване за допомогою DSSS з використанням бітової послідовності псевдовипадкового шуму (PN-код). Поле даних також зашифровано у режимі передачі 8DR кожний символ представляє вісім бітів незашифрованих даних. 128 послідовностей PN-коду згенеровано на основі файлу DATA_CODE_ADR з регістром 0x23. Дані послідовності та стан коду (нормальний чи інвертований) використано для шифрування восьми бітів інформації. Однак, при цьому PN-коди обмежені дев'ятьма кодами на канал, а це вже можна зламати звичайним перебором у реальному часі. Маючи PN-код можна легко розшифрувати усе повідомлення.

Послідовність частотних стрибків можна вирахувати простим спостереженням за сигналом. Після складання таблиці стрибків можна починати атаку на БПЛА. Знаючи SOP та PN-код можна створити і відправити на БПЛА пакет, який переведе управління на новий пульт керування.

Перевага даного методу у тому, що не потрібно глушити сигнал основного пристрою керування. Крім того обладнання для атаки коштує трохи менше 100 доларів. Знання даного алгоритму дозволяє захистити власних дронів додатковими криптоалгоритмами. При одночасному використанні власних БПЛА та даного методу перехоплення БПЛА супротивника необхідно скласти списки SOP послідовностей власних дронів. Також БПЛА перехоплений даним методом можна перехопити повторно за допомогою такого ж комплексу обладнання.

Висновки. Описаний спосіб отримання детальної інформації про протокол DSMx та виявлення алгоритму атаки. Технологія пакетної передачі DSMX має серйозну вразливість до атаки за часом, спосіб реалізації якої розкрито у даній роботі. Ключовим для реалізації даної атаки є відсутність криптографічного шифрування пакетів даних. Програмно-визначальна радіосистема дозволяє реалізувати даний спосіб атаки для будь-якої пакетної технології, що не має достатнього рівня захисту.

Список використаних джерел

1. Протоколи в передавачах та приймачах: PWM, PPM, SBus, DSM2, DSMX, SUMD// Блог RCdetails. URL: <https://blog.rcdetails.info/protokoly-v-priemnikah-i-peredatchikah-pwm-ppm-sbus-dsm2-dsmx-sumd/> (Дата оновлення: 07.2017, дата звернення 30.09.2017).
2. Опис пристрою bladeRF – the USB 3.0 Superspeed Software Defined Radio// Офіційний сайт компанії Nuand URL: <https://www.nuand.com/> (Дата звернення: 30.09.2017)
3. Software defined radio // інформаційний ресурс: Вікіпедія URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Software_Defined_Radio (Дата оновлення 31.10.2016, дата звернення: 28.09.2017)
4. Обговорення: SOP in WirelessUSB LP // офіційний сайт компанії Cypress embedded in tomorrow URL: <https://community.cypress.com/docs/DOC-12472>. (Дата модифікації 24.12.2011, дата перегляду 28.09.2017).
5. Специфікація для плати WirelessUSB LP 2,4 GHz Radio SoC // офіційний сайт компанії Cypress URL: www.cypress.com/file/126466/download (Дата звернення: 30.09.2017).

УДК 004.056.55

Сівко О. Е.

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

УДОСКОНАЛЕННЯ КРИПТОГРАФІЧНОГО ЗАХИСТУ HTTP ПРОТОКОЛУ

Сучасні тенденції розвитку IT-систем полягають у заповненні всіх сфер людського життя. У деяких випадках це стосується взаємозв'язку формально наперед незв'язаних систем, що працюють з різними кодуваннями, протоколами, алгоритмами, мовами тощо. Найчастіше, для підключення та передачі даних використовується HTTP-протокол. Через свою застарілість цей протокол не у повній мірі дозволяє вирішувати сучасні мережні задачі [1].

При виконанні задач обміну даними у мережі Інтернет можуть виникнути проблеми, пов'язані із неможливістю достатньо надійного приховування особистих даних користувача, наприклад, паролів або логінів. Особливо це актуально для протоколів електронної пошти та обміну даними за допомогою веб-форм. Це викликає необхідність застосовувати додатковий захист для даних, що передаються відкритим каналом Інтернет. В роботі [2] також вказуються складнощі, що виникають у зв'язку з різницею у кодуванні символів в найбільш популярних у веб мов – PHP та JavaScript.

Виходячи з вищесказаного, найбільш логічним рішенням є кодування даних, що передаються відкритим каналом за допомогою стандартних текстових протоколів. Використання сучасних алгоритмів шифрування, на зразок Каліни чи AES, супроводжується високим навантаженням на обчислювальну частину інформаційної системи (що особливо актуально для мобільних і персональних пристроїв з автономним живленням), а також принципово неможливе при відмінностях у кодуванні символів.

Актуальність тематики полягає у тому, що популяризація і поширення комунікаційних технологій випереджає захисні можливості основних протоколів і вимагає додаткових заходів захисту.

У роботі [3] пропонується метод та алгоритм, який дозволяє уникнути невідповідностей при перетворенні текстових даних. При цьому програмної реалізації не наведено. Тож метою даної роботи є реалізація алгоритму у програмному вигляді з урахуванням питань, які не були вирішені у вказаних роботах.

Для розробки функцій було використано серверну мову програмування PHP. Щоб забезпечити максимальну надійність коду, було застосовано техніки безпечного програмування, як-от: відсутність передчасних переривань циклів при переборі інформаційних послідовностей задля унеможливлення атаки за часом; застосування спеціальної криптографічно безпечної функції `random_int()` для генерації «солі». В якості шаблону для перемішування обрано матриці із алгоритму DES, які забезпечують рівномірний розподіл символів при перемішуванні [4].

Текст розроблених функцій:

```
$alphabetTable = array(
    "A" => 0, "a" => 1,
    "Б" => 2, "б" => 3,
    "В" => 4, "в" => 5,
    "Г" => 6, "г" => 7,...// таблиця алфавітної відповідності
function sequenceMixing($outputSequence)
{ //функція для змішування початкової послідовності символів
    $mixingMatrix= array(57, 49, 41, 33, 25, 17, 9, 1,...//матриця IP з
    //алгоритму DES; при розшифровці використовується матриця IP-1
    $textBuffer= array();
    //копіруємо до буферу
```

```

foreach($outputSequence as $value)
{ $textBuffer[] = $value; }
// «змішуємо» за правилом матриці
for($i=0;$i<count($mixingMatrix);$i++)
{ $outputSequence[$mixingMatrix[$i]] = $textBuffer[$i]; }
return $outputSequence; }
function translate($type,$inputSequence,$alphabetTable)// «переклад» з
//текстового формату до числового та навпаки
{ $outputSequence= array();
$tmp=false;
reset($alphabetTable);
if(1==$type)
{ //літери -> цифри
for($i=0;$i<(count($inputSequence));$i++)
{ reset($alphabetTable);
$tmp=false;
for($j=0;$j<count($alphabetTable);$j++)
{ $value = current($alphabetTable);
if(key($alphabetTable)==$inputSequence[$i])
{ $outputSequence[] = $value;
$tmp=true; }
next($alphabetTable); } } }
else { //цифри -> літери
for($i=0;$i<(count($inputSequence));$i++)
{ reset($alphabetTable); $tmp=false;
for($j=0;$j<count($alphabetTable);$j++)
{ $value = current($alphabetTable);
if($value == $inputSequence[$i])
{ $outputSequence[] = key($alphabetTable);
$tmp=true; }
next($alphabetTable); } } }
if(false==$tmp) { //повідомлення про помилку }
return $outputSequence; }
function involutiveTranslation($inputSequence,$password,$alphabetTable)
{ //інволютивне перетворення
for($i=0;$i<count($inputSequence);$i++)
{ $invNum= (count($alphabetTable)-$inputSequence[$i]+$password[$i%count($password)])
%count($alphabetTable);
$inputSequence[$i]= $invNum; }
return $inputSequence; }

```

Випробування алгоритму засвідчило відсутність «нерухомих» символів, а також «розмиття» тексту, що складається з однакових символів. Відмінність шифроблоків, що відповідають одному тексту і паролю дозволяє відрізнити (нумерувати) комунікаційні сеанси.

Для тестування алгоритму шифрування, по-перше, виконаємо декілька шифрувань одного і того ж початкового тексту та пароля. По-друге, повторимо тест для даних, що складаються з одного і того ж символу. Результати наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

text: _secure_text password: p	text: _____ (20_) password: p
YHb9bFS08mc9eG5ROpTgfx5R1zV9_r3_ 6Opr5yEQetqr8zRxWjgrmHHEvbyJRTm jtqTQTDot0rTT4Q7_dbbWDXN9n9s8G1A SDvghJy12iwgkKLIIE0azQZGh74k2Raw mbfYn_OjwSgYQa12c6e2IRO4cqf0ZxF8	TxaZ0PancxaZ0PancxaZ0Panc_0IZGYu ePNgNxz6zPNgNxz6zPNgNxz6zkDzFIq ituGJTSGDtuGJTSGDtuGJTSGDngDrPDF Nf3Ve7jr8f3Ve7jr8f3Ve7jr80EA6RiJ eKDdNCJ9zKDdNCJ9zKDdNCJ9zosSJMhc

Шрифт постійної ширини дозволяє краще візуально аналізувати шифр: немає вертикальних ліній з одним і тим же символом (аналог фіксованих бітів). Тому на практиці алгоритм показує гарні результати.

Висновки. Розроблено реалізацію алгоритму шифрування даних, що працює за схемою транспозиція – накладання паролю – транспозиція, з накладанням паролю за символьним принципом через інволютивне перетворення у групі абетки. Додаткову надійність забезпечено долученням криптографічної «солі» та вирів-

нюванням блоків. Випробування алгоритму засвідчило відсутність «нерухомих» символів, а також «розмиття» тексту, що складається з однакових символів. Відмінність шифроблоків, що відповідають одному тексту і пароллю дозволяє відрізнати (нумерувати) комунікаційні сеанси. Складено та представлено програми, що можуть бути прямо долучені до інформаційних систем, побудованих мовою PHP, або адаптовані до інших мов програмування.

Список використаних джерел

1. Hacker intelligence initiative report – HTTP/2: In-depth analysis of the top four flaws of the next generation web protocol / Режим доступу: https://www.imperva.com/docs/Imperva_HII_HTTP2.pdf
2. Самойленко Д. М. Комплексна система захисту інформаційного ресурсу / Інформаційна безпека, 2013. – № 1 (9).
3. Самойленко Д. М. Web-орієнтована система шифрування URI-параметрів / Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем: Збірник матеріалів доповідей та тез; м. Київ, 23-24 березня 2017 р.; Київський національний університет імені Тараса Шевченка. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2017.
4. FIPS Publication 46-3, Data Encryption Standard (DES) / Режим доступу: <https://csrc.nist.gov/csrc/media/publications/fips/46/3/archive/1999-10-25/documents/fips46-3.pdf>

УДК 629.584.004.056

Корицький В. І., Білецький Д. М.

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

АНАЛІЗ ЗАГРОЗ ІНФОРМАЦІЙНІЙ БЕЗПЕЦІ ПРИВ'ЯЗНОЇ ПІДВОДНОЇ СИСТЕМИ

Сучасні підводні роботи проводяться за допомогою прив'язних підводних систем (ППС), основними перевагами яких є: висока точність проведення робіт, відсутність потреби використовувати водолазів, що дозволяє зменшити витрати, можливість керувати ППС в режимі реального часу і т.д. ППС складається з різноманітних засобів обробки інформації, а отже є вразливою до атак з боку потенційного злоумисника. Отже, актуальним є завдання забезпечення інформаційної безпеки прив'язної підводної системи. Розробку системи захисту інформації, яка циркулює в ППС розпочнемо з аналізу вразливостей системи до атак потенційного злоумисника. Розглянемо структуру типової ППС (рис. 1).

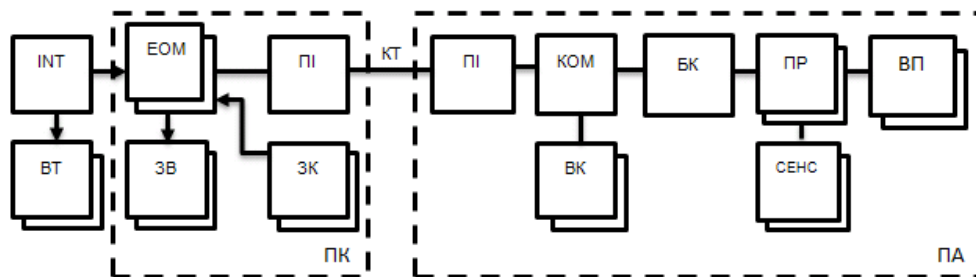


Рис. 1

Керування прив'язною підводною системою здійснюється з пункту керування (ПК) або з віддаленого терміналу (ВТ), який підключається до посту керування через мережу Internet [1]. ПК складається з наступних функціональних елементів: електронні обчислювальні машини (ЕОМ), засоби керування (ЗК), засоби відображення (ЗВ), перетворювач інтерфейсів (ПІ). ЗК формує сигнал управління підводним апаратом (ПА) який передається до ЕОМ на яких відбувається формування керуючих сигналів. Сформовані сигнали управління передаються до ПА через кабель-трос після їх обробки ПІ. ЗВ призначені для відображення інформації отриманої від ПА: навігаційні дані, зображення від відеокамер, дані від сенсорів та навігаційного обладнання.

Основним функціональним вузлом підводного апарату є бортовий комп'ютер (БК), задачею якого є отримання даних від сенсорів (СЕНС), відеокамер (ВК) та сигналів управління від пункту керування. БК проводить перетворення сигналів управління до форми, сумісної з протоколами виконавчих пристроїв (ВП). До комутаційного обладнання підключаються ВК та перетворювач інтерфейсів, задачею якого є інтерпретація даних до виду, який підходить для передачі кабель-тросом. Плата розширення (ПР) входить до складу підводного апарату через необхідність забезпечення кількості інтерфейсів достатньої для підключення сенсорів та виконавчих пристроїв шляхом агрегування більшої кількості вихідних інтерфейсів в меншу кількість вхідних, які підключені до БК [2]. В якості сенсорів на підводному апараті обов'язково встановлено навігаційне обладнання: магнітометр, акселерометр, сенсори кутової швидкості та глибини занурення, – а також, виходячи з функціонального призначення підводного апарату, можуть бути встановлені додаткові сенсори. До складу

виконавчих пристроїв обов'язково входить рушійно-рульовий комплекс, крім нього на апараті може бути встановлено маніпулятори, електромагнітні замки та інше націпне обладнання, наявність якого обумовлено функціональним призначенням ПА.

Аналіз зазначеної структури дозволив визначити наступні загрози інформаційній безпеці ППС: витік навігаційних даних або їх пошкодження в процесі передачі; витік/модифікація даних отриманих від ВК та націпного обладнання; вихід з ладу каналів зв'язку, ПА або його складових частин, ПК; можливість перехоплення зловмисником управління підводним апаратом.

Висновки. В ході роботи було проаналізовано загальну структуру прив'язної підводної системи. Описані зв'язки між функціональними елементами системи та визначено основні загрози її інформаційній безпеці. Варто відмітити, що серед зазначених загроз найбільш небезпечною є можливість перехоплення зловмисником керування підводним апаратом.

Список використаних джерел

1. Блінцов О.В. Інформаційна безпека прив'язної підводної системи [Текст] / О.В. Блінцов, В.І. Корицький // Перспективні напрями захисту інформації: матеріали першої всеукраїнської науково-практичної конференції. – Одеса: ОНАЗ, 2015. – С. 7-10

2. Блінцов О.В. Розробка модульної системи інформаційного обміну прив'язної підводної системи [Текст] / О.В. Блінцов, В.І. Корицький // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2015. – № 2 (458). – С. 87-94

УДК 003.26

Хоптян Д. В.

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

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КОРЕЛЯЦІЙНОГО КРИПТОАНАЛІЗУ

Серед усього спектра методів захисту даних від небажаного доступу особливе місце займають криптографічні методи. На відміну від інших методів захисту інформації, вони спираються лише на властивості самої інформації і не використовують властивості її матеріальних носіїв, особливості вузлів її обробки, передачі і збереження.

Криптографічні методи будують бар'єр між інформацією, що захищається, і реальним або потенційним зловмисником із самої інформації.

Незважаючи на успіхи сучасної криптографії, серед захисних рішень можуть траплятись такі, що мають недоліки та вразливості для зловмисників через використання дискредитованих алгоритмів або протоколів. Для аналізу криптосистем на якість необхідне розвинення інструментарію, що дозволяє аналізувати криптограми на відповідність зазначених вимог безпеки.

Методи криптоаналізу шифрів простої (моноалфавітної) заміни відпрацьовані досить добре. Наявна достатня кількість публікацій та оглядів щодо зазначених методів. У той же час криптоаналіз поліалфавітних шифрів розглянуто значно менше. Переважна більшість методів аналізу зазначених шифрів ґрунтується на методах Казинського (1863 р.) та Фрідмана (поч. XX ст.) [1 – 2]

Будемо називати функцією автокореляції шифротексту $K(s)$ результат. Принцип визначення періоду появи однакових символів базується на властивості операції XOR, яка полягає у тому, що $\forall x : x \oplus x = 0$, тобто за умови, що на відстані s один від одного знаходяться однакові символи, результат операції $T(i) \oplus T(i + s)$ дорівнює нулю. Дельта функція передбачає порівняння обчисленого результату з нулем. За умови рівності значення функції беруть рівним одиниці. У протилежному випадку значення функції є нульовим. Ураховуючи вказані особливості, значенням функції автокореляції шифротексту $K(s)$ буде кількість однакових символів у шифротексті, які знаходяться на відстані s один від одного [3 – 4].

Для випробування програми було обрано текст української мови в форматі (.txt) на 599 символи та пароль довжиною 8 символів.

Для побудови графіка функції автокореляції, ми знаходимо функцію кореляції. Значенням функції автокореляції шифротексту буде кількість однакових символів у шифротексті, які знаходяться на певній відстані один від одного.

Як видно з рисунку 1, для тексту зашифрованого шифром Віженера спостерігаються «довгі» кореляції для зсувів, кратних довжині пароля. Це дозволяє визначити довжину пароля «на око», без застосування спеціальних методів статистичної обробки. На графіку видно, що довжина пароля дорівнює 8 символів.

Висновки. Створено програмне забезпечення для реалізації кореляційно криптоаналізу текстових комп'ютерних файлів. З навчальною метою до нього було включено модуль шифрування заданих текстів. За допомогою атаки із застосуванням функції автокореляції шифротексту проведено криптоаналіз шифру Віженера. В данному шифрі спостерігаються «довгі» кореляції для зсувів, кратних довжині пароля. Даний шифр не продемонстрував стійкість до цієї атаки. Створене програмне забезпечення дозволяє розширення можли-

ностей за модульним принципом. Перспективним є дослідження на стійкість описаних атак інших поліабеткових шифрів та їх модифікацій.

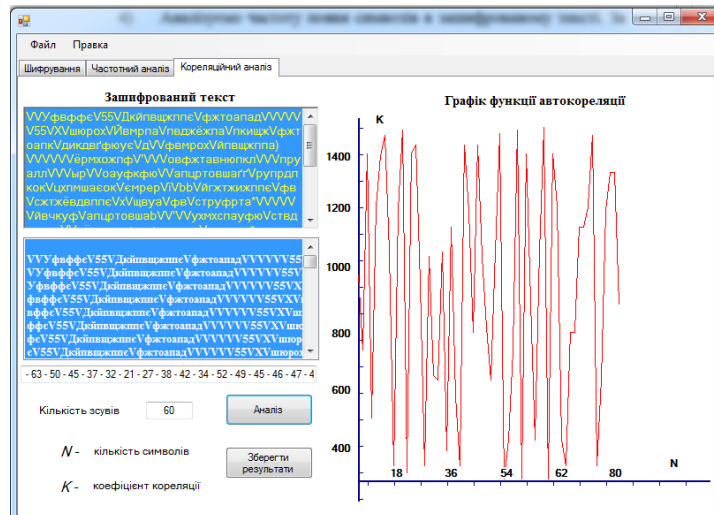


Рис. 1

Список використаних джерел

1. НД ТЗІ 1.1-003-99. Термінологія у галузі захисту інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу. URL: http://www.dsszzi.gov.ua/dsszzi/control/uk/publish/article?art_id=89740 (дата звернення: 08.03.2018).
 2. Криптоаналіз модифікацій шифру Віженера / Д. М. Самойленко // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. 2013. № 3. С. 74-76.
 3. Бірман Л. Криптографічні методи. Шифр Цезаря. Шифр Віженера. Алгоритм DES: // навч. посіб. Суми, 2008. 213. URL: <https://univere.ru/work19765> (дата звернення: 10.03.2018).
- Николаев Б. В. Криптография та криптоанализ: вікова проблема людства / Николаев Б. В. // URL: <http://easycode.com.ua/2012/08/kriptografiya-ta-kriptoanaliz-vikova-problema-lyudstva-kriptografiya-security-hack-statti/> (дата звернення: 08.03.2018).

УДК 004.056/934

Касьянов Ю. І., Станков Д. К.

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

ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ ТОНАЛЬНОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАЩИЩЕННОСТИ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗА КРИТЕРІЄМ РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ

Розбірливість мови вже давно є одним з основних критеріїв в оцінці якості каналів мовного зв'язку, бо від неї залежить, чи зрозуміє слухач почуту інформацію, чи ні [1, 2]. Останнім часом критерій розбірливості мови почали використовувати і в області інформаційної безпеки для оцінки захищеності мовної інформації (оцінки ефективності заходів захисту) [3].

Всі методи визначення розбірливості мови поділяються на об'єктивні та суб'єктивні. В сертифікованих методиках оцінювання захищеності мовної інформації наразі використовуються формантні об'єктивні методи. Але ці методи не дозволяють врахувати ряд суб'єктивних факторів, що впливають на розбірливість мови. Ці фактори враховуються в суб'єктивних методах, в тому числі в тональному методі. Але суб'єктивні методи передбачають участь дикторів та аудиторів і багатоваріантні дослідження, що приводить до великих часових та фінансових затрат і обмежує можливості їх використання в задачах оцінювання захищеності мовної інформації, де основною умовою є оперативність. Тому в існуючому вигляді цей метод не може бути використаний в оцінюванні захищеності мовної інформації та ефективності засобів захисту. Це обумовлює необхідність переходу від артикуляційних до інструментальних вимірювань та мінімізації їх кількості і розробки основ інструментально-розрахункового тонального методу.

Для вирішення цієї задачі визначено основні етапи інструментально-розрахункового тонального методу для задач оцінки захищеності інформації:

- 1) Вимірювання рівнів тестових тональних сигналів в контрольній точці на середньгеометричних частотах октавних смуг.
- 2) Зняття частотної характеристики шуму (рівні шуму в октавних смугах) в контрольній точці.

3) Визначення порогу відчуття тону в контрольній точці на середньгеометричних частотах за отриманими раніше залежностями порогу відчуття тону від рівня шуму в октавних смугах. В залежності від рівня шуму та його спектральних характеристик він буде по різному впливати на поріг відчуття тону.

4) Визначаються рівні відчуття тону. Вони дорівнюють різниці між рівнем тестового сигналу та порогом відчуття тону на певній частоті.

5) За таблицями, графіками або аналітично визначається формантна розбірливість в октавних смугах.

6) Визначається, загальна формантна розбірливість.

7) Визначається складова і словесна розбірливість.

Проведена апробація інструментально-розрахункового тонального методу і порівняння отриманих за ним результатів з результатами дослідження стандартним суб'єктивним тональним методом. Відхилення не перевищує 1%.

Результати порівняння залежності форматної розбірливості від відношення сигнал/шум графічно представлені на рис. 1.

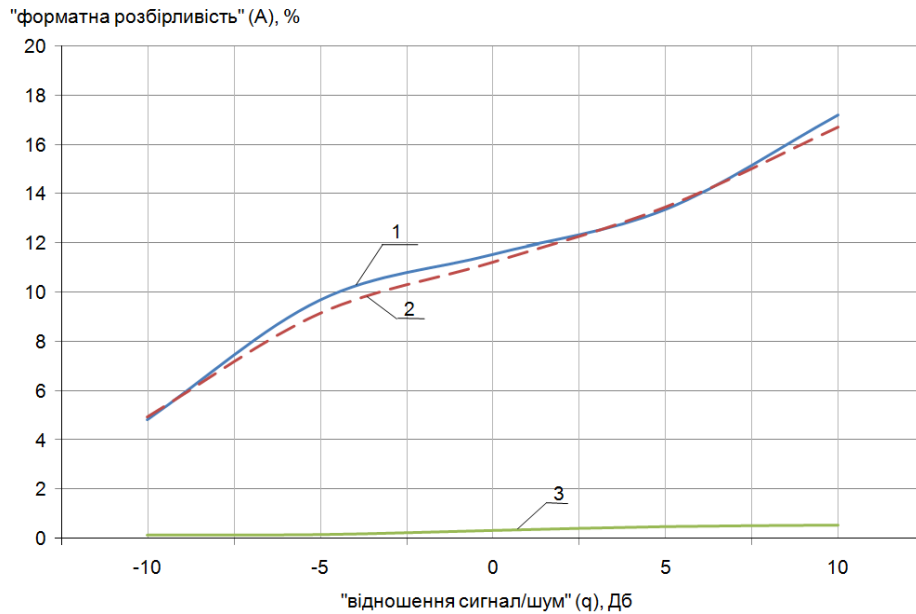


Рис. 1

Лініями 1 і 2 відповідно позначено форматну розбірливість за стандартним тональним методом та за інструментально-розрахунковим тональним методом. Лінія 3 визначає відносну похибку між ними.

Графічне представлення порівняння залежності словесної розбірливості від відношення сигнал/шум представлено на рис. 2.

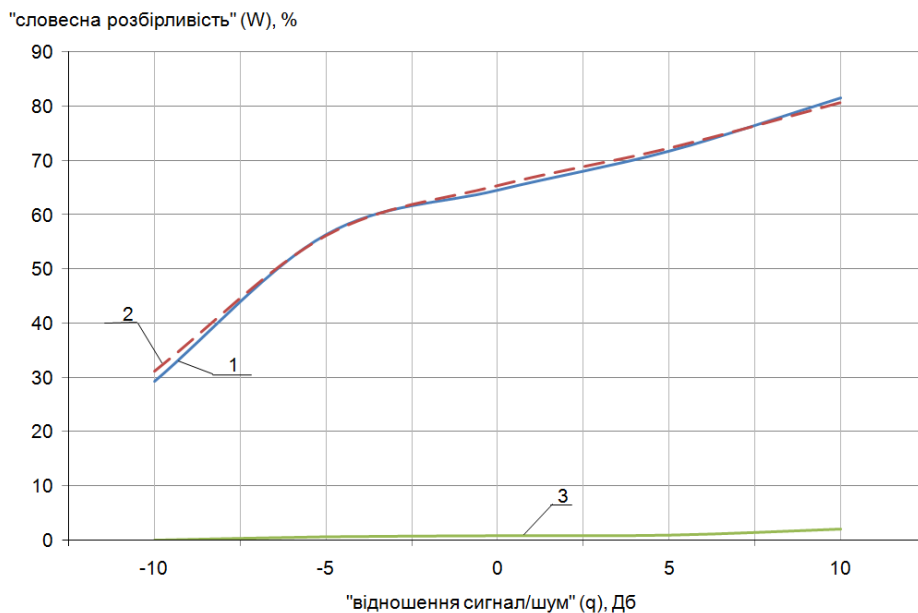


Рис. 2

Лініями 1 і 2 позначено словесну розбірливість за стандартним суб'єктивним тональним методом та за інструментально-розрахунковим тональним методом відповідно. Відносна похибка позначена лінією 3.

Наступним кроком для впровадження використання цієї методики потрібно встановити залежності розбірливості мови при різних видах та рівнях шумових завад для заданих речових сигналів. На основі цих залежностей можливо створити оптимізовані розрахунки розбірливості мови.

Висновок. Визначено етапи та проведено апробацію інструментально-розрахункової методики на базі тонального методу. Розроблена методика дасть можливість оперативно проводити оцінювання захищеності мовної інформації при різних видах та рівнях шумових завад та враховувати при цьому вплив суб'єктивних факторів.

Список використаних джерел

1. Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи [Текст] / Н.Б. Покровский. - М.: Гос. изд-во литературы по вопросам связи и радио, 1962. – 392 с.
2. Сапожков М.А. Речевой сигнал в кибернетике и связи [Текст] / М.А. Сапожков. - М.: Гос. изд-во литературы по вопросам связи и радио, 1963. – 452 с.
3. Хорев А.А. К оценке эффективности защиты акустической (речевой) информации [Текст] / А.А.Хорев, Ю.К. Макаров // Специальная техника. – 2000. - № 5. – С. 46 – 56.

УДК 004.934.2: 534.442.6

Гратій А. О., Заноскіна П. В.,

Науковий керівник к.т.н, доцент Нужний С. М.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЯ ЗАХИЩЕНОСТІ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Вступ. Захист мовної інформації залишається визначальною задачею для систем технічного захисту, що в котре було підтверджено в останні роки рядом нормативних документів. Однак, існуючий набір методів захисту є досить обмеженим і складається з:

- 1) організаційних заходів;
- 2) пасивних систем звукоізоляції;
- 3) пристроїв постановки активних завад.

Тобто є надто обмеженим та має ряд суттєвих недоліків.

Таким чином, виникає питання про створення нової методології захисту акустичної/мовної інформації.

Існуюча методика забезпечення захищеності мовної інформації ґрунтується на дослідженнях, проведених в 20...30 роки ХХ століття, які показали можливість забезпечити захист при використанні білого (або, в залежності від технічних особливостей контрольованої зони та навколишнього середовища, так званими кольоровими завадами).

Ще на початку ХХІ століття Хорев А.А.[4-7] вказує на необхідність переходу до нових підходів в визначенні захищеності мовного сигналу – використання такого поняття як розбірливість мови.

Подальший розвиток ідей Хорева А.А. набули в роботах Железняк В.К., Макарова Ю.К., Продеуса А.М., Дідковського В.С. та інших [4-7]. Основним принципом в їх роботах залишилось використання сигналу завади (білого, кольорового чи мовоподібного типів) для перешкоджання розпізнаванню на його фоні небезпечного сигналу. В роботах Бортникова А.Н. [4], Лобов В.А. [4,5] запропоновані методики, які вже розглядають спектри мовного сигналу та їх структурних одиниць (фонем) по третьоктавним смугам.

В генераторах постановки активних завад, які засновані на нових принципах формування сигналу мовоподібної завади – використання реальної людської мови. В таких генераторах використовуються методи реверберації сигналу та інверсії спектру.

Отже, завдання розробки нової методики проведення атестації виділених приміщень (контрольованої зони) набуває наукової та прикладної значимості.

Особливої вагомості при розробці такого методу набувають питання:

- 1) тип методології (об'єктивна чи суб'єктивна);
- 2) джерело та тип тестового сигналу.

Суб'єктивні методики для визначення розбірливості можуть дати більш точну оцінку захищеності мовної інформації, однак вимагають набагато більшого часу на проведення атестації приміщення та значно більших людських ресурсів.

Об'єктивні методики, які засновані на статистичній обробці результатів попередніх досліджень та досвіду експлуатації телекомунікаційних ліній та систем захисту інформації, дають узагальнені аналітичні методи розрахунку, що не враховують особливостей конкретних дикторів та слухачів. В результаті узагальнення всіх

факторів, які б сприяли слухачу-зловмиснику розпізнати інформацію, вони рекомендують збільшити усереднений коефіцієнт сприйняття мови на 10%, тобто

Однак далі, для атестації приміщень знову ж таки використовується стандартна методика, яка основана на вимірюванні коефіцієнта сигнал/шум.

Була спроба приблизити стандартну методику до людської мови, взявши в якості тестового сигналу набір частот в третьоктавних смугах, які відповідають в найбільшій мірі максимумам розподілу енергії в фонемах. Однак ця спроба так і залишилась не прийнятою.

Отже, вказане питання залишається відкритим і вимагає вирішення.

Метою роботи є вдосконалення методу оцінювання ступеня захищеності мовної інформації, яка озвучується на об'єктах інформаційної діяльності, від витoku акустичними та вібраційними каналами, за умови використання на об'єкті захисту системи постановки активних акустичних/вібраційних завад

Для досягнення вказаної мети вирішувались наступні задачі:

- досліджено вплив шумової засади на стійкість алофонів;
- розглянуті метод ручного/автоматичного виділення алофонів з фонограми диктора;
- запропоновано метод розпізнавання алофонів з фонограм які мають значний рівень зашумленості.

Викладення основного матеріалу.

Акустичний канал витoku інформації складається з трьох складових: джерело небезпечного сигналу, фізичної середовища його поширення (повітря, вода, земля, будівельні та інші конструкції) та технічного засобу його прийому, що визначають фізичний шлях, по якому зловмисник забезпечує її несанкціоноване отримання.

Мовний сигнал – складний фізичний процес, пов'язаний зі зміною акустичних параметрів, які містять інформацію про зміст повідомлення.

Мовний сигнал створюється голосовим апаратом людини і являє собою обурення повітряного середовища у вигляді хвиль стиснення і розтягнення (акустичні коливання). Енергія мовного сигналу зосереджена в діапазоні 300 - 4000 Гц.

Для захисту мовної інформації від витoku технічними каналами на об'єктах інформаційної діяльності, де циркулює інформація з обмеженим доступом, створюється комплекс технічного захисту інформації (скорочено – КТЗІ або комплекс ТЗІ), якій являє собою сукупність організаційних, інженерних і технічних заходів та засобів.

Пасивні методи захисту мовної інформації спрямовані на:

- ослаблення акустичних (мовних) сигналів на кордоні контрольованої зони до величин, що забезпечують неможливість їхнього виділення засобом розвідки на тлі природних шумів;
- ослаблення інформаційних електричних сигналів у з'єднувальних лініях, що мають у своєму складі електроакустичні перетворювачі (володіють мікрофонним ефектом), до величин, що забезпечують неможливість їхнього виділення засобом розвідки на тлі природних шумів;
- виняток (ослаблення) проходження сигналів високочастотного нав'язування у допоміжні технічні засоби, що мають у своєму складі електроакустичні перетворювачі (володіють мікрофонним ефектом);
- виявлення випромінювань акустичних закладок і побічних електромагнітних випромінювань диктофонів в режимі запису;
- виявлення несанкціонованих підключень до телефонних ліній зв'язку.

Активні методи захисту інформації забезпечують:

- створення маскуючих акустичних і вібраційних перешкод з метою зменшення відношення сигнал / шум на кордоні контрольованої зони до величин, що забезпечують неможливість виділення інформаційного акустичного сигналу засобом розвідки;
- створення маскуючих електромагнітних перешкод у лініях з'єднання, що мають у своєму складі електроакустичні перетворювачі (володіють мікрофонним ефектом), з метою зменшення відношення сигнал / шум до величин, що забезпечують неможливість виділення інформаційного сигналу засобом розвідки;
- електромагнітне порушення функціонування диктофонів в режимі запису;
- ультразвукове порушення функціонування диктофонів в режимі запису;
- створення маскуючих електромагнітних перешкод в лініях електроживлення, що володіють мікрофонним ефектом, з метою зменшення відношення сигнал / шум до величин, що забезпечують неможливість виділення інформаційного сигналу засобом розвідки;
- створення прицільних радіоперешкод акустичним і телефонним радіозакладним пристроям з метою зменшення відношення сигнал / шум до величин, що забезпечують неможливість виділення інформаційного сигналу засобом розвідки;
- порушення функціонування засобів несанкціонованого підключення до телефонних ліній;
- знищення (виведення з ладу) засобів несанкціонованого підключення до телефонних ліній.

Узагальнена методика розпізнавання мови диктора. Мова у вигляді звукових хвиль фіксується мікрофоном (рис.1)

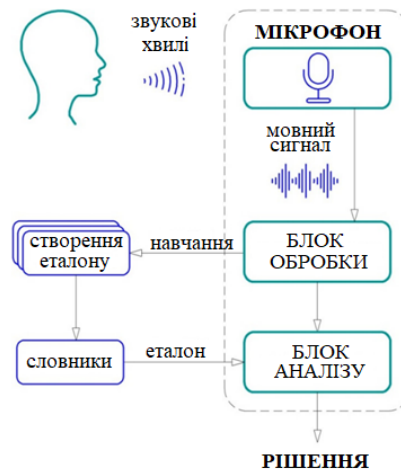


Рис. 1

У блоці обробки аналоговий сигнал перетворюється в цифрову форму, проходить фільтрацію і попередню корекцію, розбивається на ділянки, в яких відбувається виділення акустичних параметрів для подальшого аналізу. Блок аналізу зазвичай включає акустичний, лінгвістичний і семантичний аналізи.

Важливо відзначити, що з урахуванням програмного і апаратного забезпечення внутрішній устрій блоків системи розпізнавання мови набагато складніший.

Для забезпечення високої якості розпізнавання мови БД повинні включати в себе всі необхідні характеристики мовлення людини.

Процес створення БД включає наступні етапи:

- вибір базового набору фонетико-акустичних елементів мовлення;
- формування представницького текстового корпусу (набору текстів) і відповідних цим текстам фонограм мови (мовної бази);
- обробка створеної мовної бази, що включає сегментацію на елементарні ділянки і їх аллофонне маркування із збереженням отриманого набору елементів в БД.

Підготовка тест-сигналів. Підготовку тест-сигналів виконана для типових рівнів перевірки акустичних систем, що використовуються в системах технічного захисту: 0; – 2; – 4; – 6 та – 10 дБА.

Головною особливістю підготовки тест-сигналів є їх програмне налаштування. При такому налаштуванні необхідно враховувати, що звукові редактори працюють зі шкалами не класичного акустичного діапазону (дБА), а в шкалі dBfs (dB – децибел, FS = FullScale – повна шкала).

Таким чином, необхідно виконати перерахунок рівнів тест-сигналу та завади із стандартних, визначених в нормативних документах на рівні програмного редактора.

При виконанні перерахунку головним ускладненням є відсутність нормативної методики його проведення. Існують декілька міжнародних документів, наприклад ITU-R BS.1771 (Міжнародний союз зв'язку) [8], EBU-R128 (Європейський радіомовний союз) [9], IEC 268-10 (Міжнародна електротехнічна комісія) [10] та ряд інших.

Одночасно з цим, при розробці тест-сигналів можна скористатися головною особливістю шкал в dB в незалежності від стандарту – крок зміни величини завжди залишається незмінним. А тому, враховуючи, що відношення сигнал/шум в децибелах визначається як різниця між середньоквадратичними рівнями сигналів, то головними умовами при формуванні тест-сигналів є:

- а) забезпечити необхідну різницю середньоквадратичних рівнів;
- б) забезпечити достатній запас динамічного рівня на збільшення сигналу для запобігання виникнення ефектів кліппінгу та дизерингу.

Аналіз тест-сигналів контролів фрази. Після проведення синтезу тест-сигналу фрази «Зона поразення» з середньоквадратичним рівнем накладеного білого шуму, був проведений їх аналіз з використанням вейвлет-перетворень

При співвідношенні сигнал/завада до –4 dB вейвлет-перетворення дає досить якісну фільтрацію завади.

Співвідношення –6 dB та –10 dB (рис. 2) частково спотворюють оригінальний сигнал – з'являється стороннє шумове забарвлення, яке заважає з однозначністю ідентифікувати диктора.

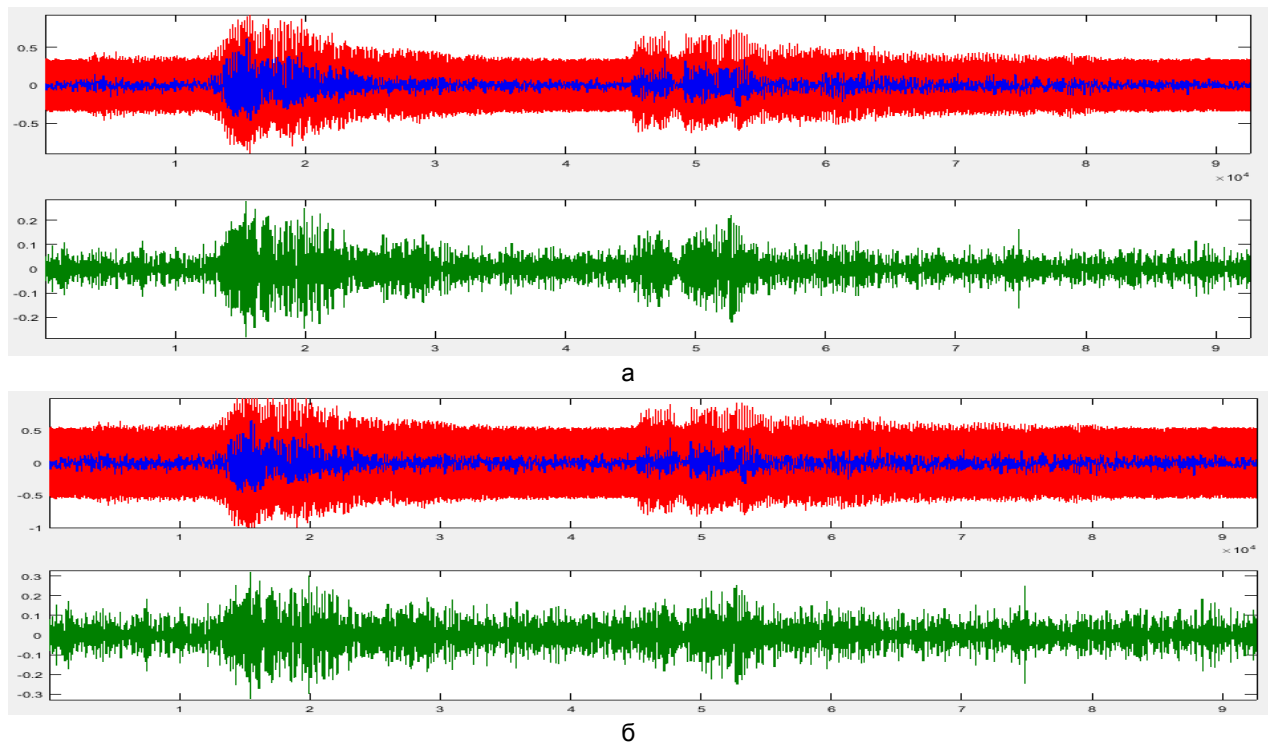


Рис. 2 – Результати роботи функції по вейвлет-перетворенню тест-сигналу шумової завади:
а) –6 dB та б) – 10 dB

Висновки: Отже, вирішення проблем побудови систем автоматичного розпізнавання мовленнєвих сигналів, інваріантних до диктора – дало б змогу розширити коло користувачів інформаційно-вимірюваних систем і значно підвищити ефективність обміну інформацією в людино-машинних системах.

Список використаних джерел

1. Про затвердження «Ліцензійних умов провадження господарської діяльності з надання послуг у галузі технічного захисту інформації...»: Наказ Адміністрації державної служби спеціального зв'язу та захисту інформації України від 14.10.2014 р. № 532 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z1387-14>
2. НД ТЗІ 2.6-002-2015 Порядок зіставлення функціональних компонентів безпеки, визначених ISO/IEC 15408, з вимогами НД ТЗІ 2.5-004-99 – К.: Департамент спеціальних телекомунікаційних систем та захисту інформації Служби безпеки України, 2015
3. Хорев А.А. Методы защиты речевой информации и оценки их эффективности / А.А.Хорев, Ю.К. Макаров // Специальная техника. – 2001. – № 4. – С. 22 – 33.
4. Бортников А.Н. Результаты экспериментальных исследований оценки возможностей перехвата речевой информации при реализации методов двух канального съёма / А.Н. Бортников, С.В. Губин; В.А. Лобов, А.В. Сиромашенко; П.В. Чернышов // Вопросы защиты информации. – 2007. – № 1. – С.11-17
5. 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.
6. 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 «Захист інформації і безпека інформаційних систем» – Львів: НУ «Львівська політехніка». – 2015. – С. 175 – 176.
7. Касьянов Ю.І. Оцінювання ефективності генератора реальної мовоподібної завади за критерієм розбірливості мови [Текст] / Ю.І. Касьянов, С.М. Нужний // Вісник національного університету «Львівська політехніка» «Автоматика, вимірювання та керування». – 2016. – № 852. – С.105–110
8. Эксплуатационная практика в отношении громкости при международном обмене программами цифрового телевидения. Рекомендация МСЭ-R BS.1864 (03/2010) / Серия BS Радиовещательная служба (звуковая) // [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1864-0-201003-I!!PDF-R.pdf
9. TC-SPG 19400. LOUDNESS PARAMETERS FOR SHORT-FORM CONTENT (ADVERTS, PROMOS, ETC.) Status: Supplement 1 to R 128. – Geneva. November 2014// [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://tech.ebu.ch/docs/r/R128s1_2014_RUS.pdf

10. BS 06840-10-1991 (1999) IEC 268-10-1991 / BSI Standards Publication. A standards – Principles of standardization – BS 0:2011// [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=4659185>

УДК 004.056/934

Касьянов Ю. І., Кисельова Ю. П., Борцов А. С.

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

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕНЕРАТОРА РЕАЛЬНОЇ МОВОПОДІБНОЇ ЗАВАДИ АРТИКУЛЯЦІЙНИМ МЕТОДОМ

Вступ. Розмовна мова є фундаментальним аспектом людського спілкування і різноманітно змінюється. Бесіда з приватною інформацією відбувається в громадських приміщеннях, таких як лікарні, банки та міські відділення. Однак добре відомо, що діапазон поширення звуку не може бути легко керованим. Звук та мова можуть протікати через прогалини, такі як двері або вікна, і бути підслуханою за межами контрольованої зони, що обумовлює необхідність враховувати конфіденційність спікера та гарантувати, що сторонні особи не зможуть почути розмову.

Захист мовної інформації є одним з найважливіших завдань у загальному комплексі заходів щодо забезпечення інформаційної безпеки об'єкта або установи. Для захисту мовної інформації використовується проектно-архітектурні рішення, проведення організаційних і технічних заходів [1, 2]. Використання тих або інших методів і засобів визначається характеристиками об'єкта захисту й апаратури розвідки, умовами її ведення, а також вимогами, що висуваються до ефективності захисту акустичної інформації.

Найбільш ефективним є активний захист з використанням генераторів акустичних завад. Однак, сертифіковані генератори шуму, які формують прості сигнали, як «білий» шум і його модифікації мають підвищену уразливість при обробці сучасними засобами шумоочищення. Тому для забезпечення захищеності мовної інформації в умовах можливого застосування засобів шумоочистки необхідно впроваджувати нові ефективні генератори реальних мовоподібних завад і методики їх дослідження.

Після впровадження комплексу заходів захисту мовної інформації та в процесі експлуатації проводяться контрольні випробування, щодо оцінки захищеності мовної інформації від витoku по технічних каналах. В якості критерію захищеності використовують відповідність нормам відношення сигнал/шум, виміряного в контрольних точках.

Сьогодні з розвитком галузі інформаційної безпеки набуває широкого вжитку критерій розбірливості мови, який більш точно може характеризувати адекватність прийнятих заходів існуючим загрозам і урахувати особливості мовного сигналу та його смислової складової [3-5].

Критерій розбірливості мови та методи її оцінки здавна широко використовуються при визначенні акустичних властивостей приміщень (студій, концертних залів тощо), якості систем звукопідсилення та мовної комунікації (каналів зв'язку) [6, 7]. Розробкою цих методів займаються великі міжнародні організації: ISO, AES, IEC та ін. Однак, критерії захищеності мовної інформації, як правило, прямо протилежні критеріям якості каналів передачі мови в системах зв'язку. Тому використання методів визначення розбірливості мови і побудовані на них методики будуть мати свою специфіку в задачах інформаційної безпеки.

Актуальність даної роботи визначається необхідністю впровадження критерію розбірливості мови в практику оцінювання захищеності мовної інформації та ефективності засобів її захисту, оскільки прийнятий критерій відношення сигнал/шум при різних видах завад і однакої нормі дає різний ступінь захищеності, що гальмує застосування ефективних генераторів реальних мовоподібних завад.

Метою роботи було розробка методики оцінювання ефективності генераторів реальних мовоподібних завад за критерієм розбірливості мови та її апробація в дослідженнях створеного на кафедрі КТІБ генератора реальної мовоподібної завади ОССА-1.

Основна частина.

Для досягнення мети вирішені наступні **задачі**:

- аналіз існуючих та перспективних генераторів завади для зашумлення у виділених приміщеннях з метою захисту мовної інформації;
- аналіз методів розбірливості мови та вибір методу дослідження;
- розробка методики оцінювання ефективності генераторів реальних мовоподібних завад за критерієм розбірливості мови;
- апробація розробленої методики в дослідженнях створеного на кафедрі КТІБ генератора реальної мовоподібної завади ОССА-1.

В експерименті проводиться визначення впливу реальної мовоподібної завади на розбірливість мови та встановлення залежності між відношенням сигнал/завада та розбірливістю мови для досліджуваного генератора такої завади.

Програма досліджень включає в себе відтворення підготовлених записів таблиць слів, текстів, фраз і визначення їх розбірливості на фоні реальної мовоподібної завади при різних відношеннях сигнал/завада. На основі порівняння отриманих результатів визначається вплив генерованої реальної мовоподібної завади на розбірливість мови та встановлення залежності між відношенням сигнал/завада та розбірливістю мови.

Для визначення розбірливості використовується метод артикуляційних випробувань [6, 7].

Параметри експерименту:

- Інтегральний рівень мовного сигналу в приміщенні: 70 дБ;
- діапазон мовного сигналу – 90...11200 Гц;
- відношення сигнал/шум: +5, +0, -5, -10, -15 дБ;
- шумова завада – реальна мовоподібна завада, сформована досліджуванним генератором;
- кількість аудиторів – 5;
- швидкість начитки тексту, фраз і слів – 1 слово за 3...5 с;
- об'єм мовного повідомлення – 50...100 слів.

В дослідженнях використовувались таблиці слів російської мови, взяті з [7] та слів української мови, взяті з [8]. Також використовувались таблиці фраз російської мови і зв'язні тексти фахового змісту на українській мові.

Диктор читає слова рівним голосом, з постійним рівнем мови, чітко без підкреслювання окремих звуків.

Темп зачитування слів: 15...20 слів за хвилину з паузами між ними 2...3 секунди для їх запису аудитором. Рівень запису всього текстового матеріалу однаковий.

При використанні зв'язних текстів із області технічного захисту інформації аудіозаписи всіх текстів записані в повільному темпі. Щодо повільного темпу, мається на увазі, така швидкість начитки, щоб можна було під час прослуховування одразу записувати, в даному випадку, 1 слово за 4-6 секунд, в залежності від його довжини.

В експерименті приймали участь 5 аудиторів, (студенти, які навчаються за напрямом підготовки «Системи технічного захисту інформації»). Аудитори не мають дефектів слуху та пройшли попереднє тренування по даній методиці.

Перед початком кожного запису слів, текстів та фраз потрібно настроїти відповідне значення сигнал/завада.

Аудитори слухають і одразу записують почуте.

Порівняння почутого з оригіналами проводиться за таким критерієм:

- правильно записане слово – правильно;
- слово, записане з помилкою, що не змінює його смисл – правильно;
- не розпізнане або записане з помилкою, що змінює його смисл – не правильно.

При оцінці розбірливості текстів рішення щодо відношення не зовсім правильно сприйнятих слів (не правильно закінчення тощо) приймає аналітик, виходячи з впливу даного слова на правильність сприйняття речення.

Обробка результатів згідно розробленої методики включає в себе обчислення відношення сигнал/завада та середнього коефіцієнту словесної розбірливості.

Значення відношення сигнал/завада розраховуємо за формулою (1):

$$q = L_c - L_z \text{ (дБ)}, \quad (1)$$

де L_c – рівень корисного сигналу, а L_z – рівень завади.

Розбірливість мови розраховувалася за критерієм словесної розбірливості мови за формулою (2):

$$W = \frac{N_{\text{пр}}}{N_{\text{заг}}}, \quad (2)$$

де $N_{\text{пр}}$ – кількість правильно записаних слів, а $N_{\text{заг}}$ – загальна кількість всіх слів в артикуляційній таблиці.

Середня розбірливість мови за формулою (3):

$$W_{\text{сер}} = \frac{\sum W_i}{m}, \quad (3)$$

де $\sum W_i$ – сума словесної розбірливості усіх аудиторів по одному експерименту, а m – кількість аудиторів.

При використанні артикуляційних таблиць слів була побудована залежність між відношенням сигнал/завада та розбірливістю мови для експериментального зразка генератора ОССА-1 (рис. 1).

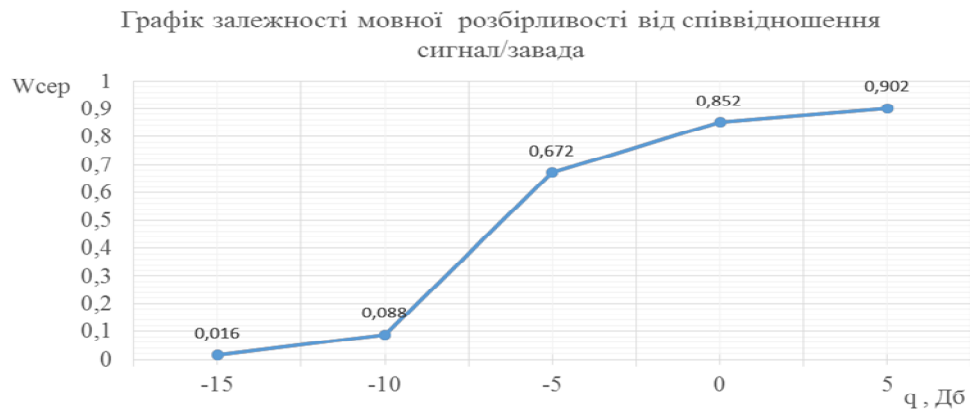
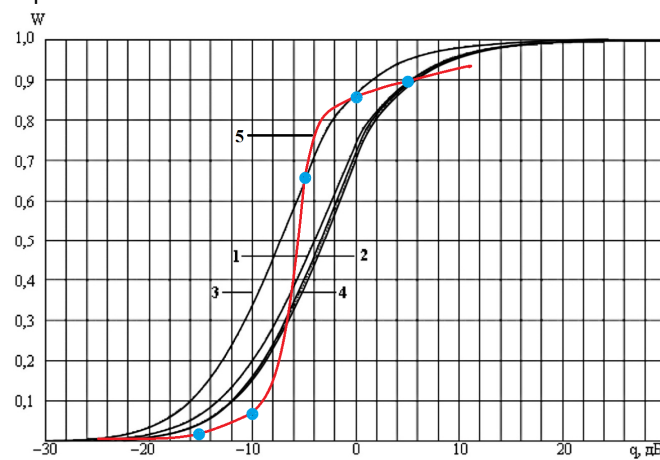


Рис. 1

Порівняння залежностей між відношенням сигнал/завада та розбірливістю мови при різних типах завад, взяті з [3, 4], з залежністю відношення сигнал/завада від розбірливості мови, отриманої для генератора ОССА-1 представлене на рис. 2.



1 - білий шум; 2 - рожевий шум; 3 - шум зі спадом спектральної щільності 6 дБ на октаву в сторону ВЧ; 4 - шумова мовоподібна завада; 5 - мовоподібна завада генератора ОССА-1

Рис.2

За розробленою методикою оцінювання ефективності генераторів реальних мовоподібних завад за критерієм розбірливості мови, було проведено дослідження ефективності генератора при зачитуванні тестових наборів фраз, взятих з [7].

Графіки за результатами даних досліджень представлені на рис. 3 та 4.

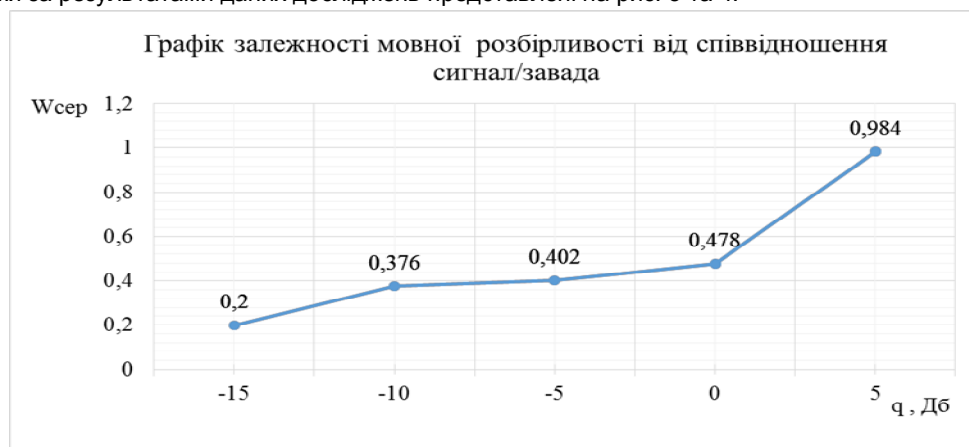
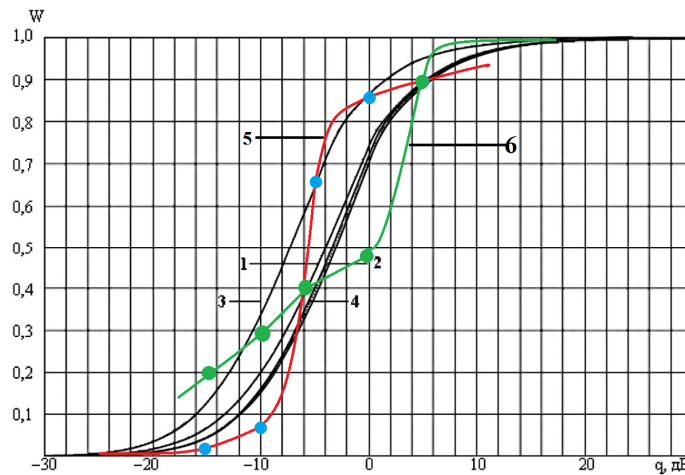


Рис. 3



1 - білий шум; 2 - рожевий шум; 3 – шум зі спадом спектральної щільності 6 дБ на октаву в сторону ВЧ; 4 – шумова мовоподібна завада; 5 – мовоподібної завада генератора ОССА-1 при використанні таблиць слів; 6 – мовоподібної завада генератора ОССА-1 при використанні наборів фраз

Рис.4

Висновки. В генераторі ОССА-1 ефективне маскування мовного повідомлення відбувається в діапазоні відношень сигнал/завада від -15 дБ до -6 дБ. Порівняно з генераторами шумових завад, генератор реальної мовоподібної завади ОССА-1 більш ефективний в діапазоні від -15 дБ до -7 дБ. При тестових сигналах у виді фраз маскування мовного сигналу погіршується і розбірливість збільшується на 15...18 %. Це пояснюється інтуїтивним визначенням слів за змістом фрази.

Список використаних джерел

1. Хорев А.А. Защита информации от утечки по техническим каналам. Часть 1. Технические каналы утечки информации. Учебное пособие / А.А. Хорев. - М.: Гостехкомиссия России, 1998. - 320 с.
2. Хорев А.А. Техническая защита информации: учебное пособие для студентов вузов. В 3 т. Т. I. Технические каналы утечки информации. - М.: НПЦ «Аналитика», 2008. - 436 с.
3. Хорев А.А. Методы защиты речевой информации и оценки их эффективности / А.А. Хорев, Ю.К. Макаров // Специальная техника. – 2001. - № 4. – С. 22 – 33.
4. Дворянkin С.В. Обоснование критериев эффективности защиты речевой информации / С.В. Дворянkin, Ю.К. Макаров, А.А. Хорев // Защита информации. Инсайд. – М.: 2007. - №2. – С.39-45.
5. Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации. Монография / Дидковский В.С., Дидковская М.В., Продеус А.Н. – Киев: Имэкс-ЛТД, 2008. – 420 с.
6. Покровский Н.Б. Расчет и измерение разборчивости речи / Н.Б. Покровский. – М.: Гос. изд-во литературы по вопросам связи и радио, 1962. – 392 с.
7. Передача речи по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных измерений: ГОСТ 16600-72. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1973. – 90 с.
8. Архипова О.О. Артикуляційні таблиці слів української мови / О.О. Архипова, В.М. Журавльов, В.М. Кумейко // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. – К., 2009. – № 2/19. – С. 13-17.

СЕКЦІЯ 5. ПІДВОДНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 629.584.004.056

Корицький В. І., Дудкіна А. А.

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

АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПІДВОДНОГО ПРОСТОРУ АКВАТОРІЇ

До складу акваторії входять мобільні та стаціонарні об'єкти, завдання шкоди яким призведе до значних економічних збитків їх власника. Отже, актуальним є завдання захисту об'єктів, які входять до складу акваторії від руйнівних дій зловмисника. Частина задач, які пов'язано із захистом акваторії вирішується шляхом проведення моніторингу її донної поверхні.

Зазвичай підводні роботи виконують із залученням водолазів. Моніторинг передбачає огляд значних площ донної поверхні акваторії, а отже залучення водолазів приводить до зниження ефективності підводних робіт. Кращіх результатів можливо досягти з використанням прив'язних підводних систем. Такі системи дозволяють організувати обстеження значних площ донної поверхні акваторії з меншими витратами ресурсів та часу [1].

Моніторинг підводного простору акваторії за допомогою підводного апарата пропонується організувати за алгоритмом який представлено на рис. 1.

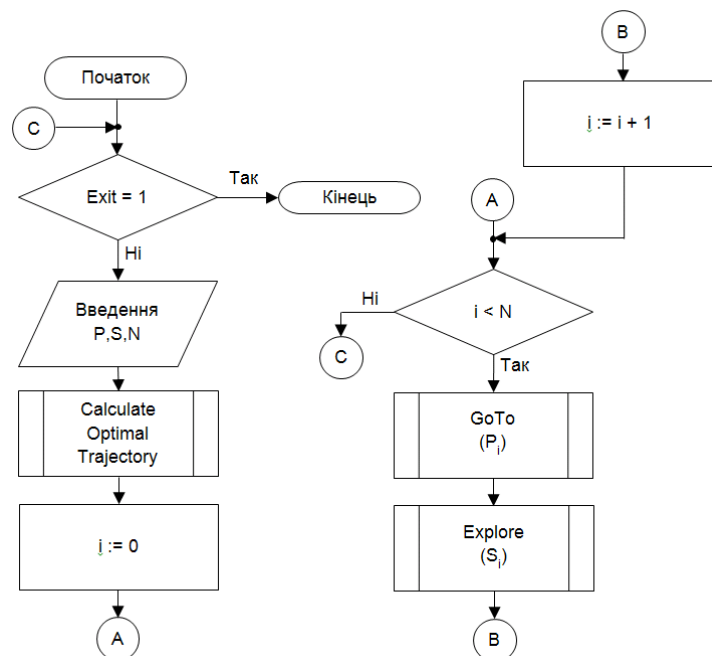


Рис. 1

Робота системи моніторингу починається з введення множин точок P та площ ділянок підводного простору S , які підлягають обстеженню. За отриманими даними програмне забезпечення системи розраховує траєкторію за якою підводні апарати будуть проводити обстеження акваторії. Після чого система передає підводним апаратам команди на перехід до відповідної точки P_i з подальшим обстеженням ділянки S_i . Дані операції повторюються циклічно до моменту завершення обстеження апаратом ділянки біля останньої точки траєкторії.

Підвищення ефективності системи пропонується досягти за рахунок паралельного обстеження ділянки акваторії кількома підводними апаратами. Задачу формування оптимального за часом маршруту руху апаратів між контрольними точками пропонується розв'язувати за допомогою оптимізації за методом мурашиних колоній [2].

Висновки. Запропоновано алгоритм функціонування системи моніторингу підводного простору акваторії на базі підводних апаратів. Застосування даного алгоритму дозволяє підвищити ефективність моніторингу за рахунок мінімізації витрати часу на обстеження ділянок підводного простору, які задано користувачем.

Список використаних джерел

1. Блінцов О.В., Надточій В.А. Автоматизація керування одноланковими самохідними прив'язними підводними системами: навчальний посібник [Текст] / О.В. Блінцов, В.А. Надточій. – Миколаїв: НУК, 2011. – 156 с.
2. Hu X Orthogonal methods based ant colony search for solving continuous optimization problems [Text] / X Hu, J Zhang, Y Li // Journal of Computer Science and Technology, 2008. – № 23 (1). – Pp.2-18.

УДК 629.584:004.056

Корицький В. І., Кривошея О. С.

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

АНАЛІЗ ЗАГРОЗ БЕЗПЕЦІ АКВАТОРІЇ

До складу акваторій зазвичай входять об'єкти критичної інфраструктури захист яких є однією з пріоритетних задач державної політики. Важливим майном та інфраструктурою акваторій є [1]:

- місця доступу, входи, під'їзди і місця якорної стоянки, маневрування та причали;
- гідротехнічні споруди, підхідні канали порту;
- вантажні пристрої, термінали, склади й устаткування для обробки вантажу;
- системи електропостачання, радіозв'язку й інших видів зв'язку та комп'ютерні системи і мережі;
- системи управління рухом суден у портах і засоби навігаційної охорони;
- джерела подачі енергії, трубопроводи для перекачування вантажу і водопостачання;
- місця стоянок транспортних засобів.

Дані об'єкти піддаються руйнуванню з часом, а також до них може бути застосовано навмисні руйнівні впливи. Запобігання таких впливів можливе при застосуванні комплексу технічних засобів для виявлення та знешкодження потенціальних зловмисників. Атака зловмисників може відбуватись з повітряного, наземного та водного простору. Можна виділити такі атаки [2]:

- диверсійні дії – ушкодження або руйнування життєво важливих будівель, споруд, технологічного устаткування за допомогою застосування зброї, вибухових пристроїв, або підпалу.
- терористичні дії – вимагання викупу та розкрадання матеріальних цінностей та документів.
- несанкціоноване втручання – втручання в систему електроживлення, керування технологічним процесом гідротехнічної споруди з метою виведення з ладу елементів цієї системи;
- блокування засобів комунікації.

Існує три рівні охорони [3]:

- рівень охорони 1 – рівень, при якому постійно підтримується визначений мінімально необхідний рівень заходів з охорони;
- рівень охорони 2 – рівень, при якому на певний період часу застосовуються посилені заходи з охорони, пов'язані з підвищенням загрози виникнення інциденту, пов'язаного з охороною;
- рівень охорони 3 – рівень, при якому в обмежений період часу застосовуються більш посилені заходи з охорони, якщо інцидент, пов'язаний з охороною, вірогідний або неминучий, при чому цілі, проти яких направлений цей інцидент, можуть бути не з'ясовані.

Виявлення та оцінка важливого майна та інфраструктури використовуються для встановлення пріоритетності їх відносної важливості для охорони порту з урахуванням того, наскільки порт, конструкція або об'єкт можуть продовжувати функціонувати без пошкодженого майна і наскільки швидко можна поновити нормальне функціонування порту.

У морських і річкових портах, в яких відкриті пункти пропуску (пункти контролю) через державний кордон України та створені зони прикордонного й митного контролю, проектування, побудова, організація та підтримання комплексної системи контролю доступу (КСКД) на захищену акваторію здійснюються з урахуванням нормативів та технічних вимог до облаштування пунктів пропуску (пунктів контролю) через державний кордон України та зон митного контролю в морських і річкових портах.

До складу КСКД на захищену акваторію входять такі засоби та системи охорони:

- система збору, обробки та відображення інформації;
- інженерні засоби охорони;
- система охоронної сигналізації;
- система зв'язку та оповіщення;
- системи гідроакустичного, радіолокаційного та відеоспостереження;
- система контролю та керування доступом;
- система охоронного освітлення.

Висновки. Було проаналізовано акваторію як об'єкт захисту, визначено її складові елементи, які можуть піддаватись атакам зловмисників, та типи атак. Проаналізувавши існуюче нормативне забезпечення в сфері захисту об'єктів морської інфраструктури визначені рівні їх охорони та загальну структуру комплексної системи контролю доступу на захищену акваторію.

Список використаних джерел

1. Закон України «Про морські порти України»: за станом на 4 липня 2013р. [Електронний ресурс] / Верховна Рада України, 2013.– Режим доступу: zakon3/rada/gov/ua/laws/show/4709-17.
2. Порядок організації охорони морських та річкових портів [Електронний ресурс]: офіційний текст: [затверджено наказом Міністерством інфраструктури України від 27.03.2013 №198] Київ: Міністерство юстиції України – Режим доступу: zakon3/rada/gov/ua/laws/show/z0654-13/page.
3. Табаков Є.М. Система контролю доступу на захищені акваторії з використанням мобільного робочого технічного комплексу [Текст] / Є. М. Табаков, В. І. Корицький, // «Сучасні проблеми інформаційної безпеки на транспорті». Матеріали до IV Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Силова електроніка та енергоефективність», Том II. – Миколаїв: НУК 2016 р. – № 1(2). – с.7-9.

УДК 629.584

Тищенко В. В., Табаков Є. М.

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

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРИВ'ЯЗНОГО ПІДВОДНОГО АПАРАТА ПРОЕКТУ «ГЛАЙДЕР»

Прив'язні підводні системи широко використовуються при вирішенні задач пошуку та ідентифікації підводних об'єктів, інспекції технічного стану судів та гідротехнічних споруд тощо. Основною функцією прив'язного підводного апарата проекту «Глайдер» є проведення інспекцій донної поверхні глибиною до 20 метрів.

Для забезпечення нормального функціонування підводного апарата необхідно мати можливість оператора контролювати наступні показники: кути курсу, крену, диференту, – та змінювати глибину занурення. Виходячи з вказаних умов було розроблено програмне забезпечення для керування прив'язним підводним апаратом проекту «Глайдер», робоче вікно якого зображено на рис. 1.

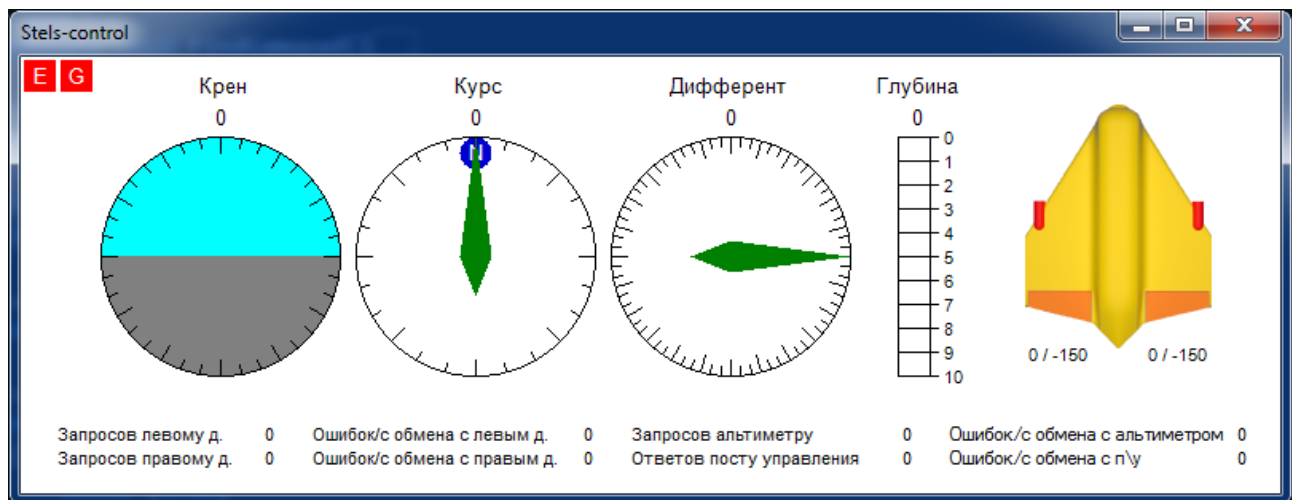


Рис. 1

Інтерфейс програми можливо умовно розділити на три зони. У першій зоні розміщено графічне відображення показників кутів крену, курсу, диференту та глибини занурення. Показники кутів Ейлера розраховуються в програмі на підставі даних отриманих з акселерометра, магнітометра та гіроскопа [1 – 2]. Глибина занурення розраховуються на підставі даних отриманих з датчику тиску [3].

У другій зоні зображено режим роботи світильників (вкл/викл) та показання кутів елевонів. Управління глибиною занурення підводного апарата відбувається зміною кутів нахилу елевонів, які рухаються за допомогою сервоприводів. Сигнал управління якими формується на основі даних отриманих від пристрою керування. Сервоприводи можуть реалізовувати кут нахилу в діапазоні від -150° до 150° . Сервоприводи по зворотному зв'язку відправляють значення кута в який вони встановлені.

У третій зоні розміщено показники помилок роботи системи. У верхньому лівому куті зображено наявність підключення інтернет мережі та наявність підключення пристрою керування. У нижній області представлено перелік помилок обміну даними з сервоприводами елевонів, з навігаційними датчиками, з постом керування, – та їх числові показники.

Висновок. Розроблено програмне забезпечення для керування прив'язним підводним апаратом проекту «Глайдер». Дане програмне забезпечення дозволить здійснювати керування підводним апаратом шляхом оцінки його положення в просторі (кути Ейлера), спостереження за режимами роботи його систем та детектування помилок роботи основних вузлів апарата.

Список використаних джерел

1. Madgwick, S. An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays [Electronic document] / S. Madgwick. – Access mode: http://x-io.co.uk/res/doc/madgwick_internal_report.pdf
2. Phuong, N.H.Q.. A DCM based orientation estimation algorithm with an inertial measurement unit and a magnetic compass [Text] / N.H.Q. Phuong, H.-J. Kang, Y.-S. Suh, Y.-S. Ro // Journal of Universal Computer Science, 2009. – Vol. 15 (4). – Pp. 859-876
3. Euston, M. A complementary filter for attitude estimation of a fixed-wing uav with a low-cost imu. / M. Euston, P. Coote, R. Mahony, J. Kim, T. Hamel // In 6th International Conference on Field and Service Robotics, July 2007.

УДК 629.584:681.5

Блінцов О. В., д.т.н., Корицький В. І.

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

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РУХОМ ПІДВОДНОГО АПАРАТА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ АКВАТОРІЙ

Моніторинг підводного простору акваторій є основою для виконання широкого спектру підводних задач, в тому числі загальнодержавного значення [1]. Зазвичай він здійснюється з залученням підводних апаратів (прив'язних та/або автономних). Однак, конструкція сучасних підводних апаратів не відповідає вимогам модularity та багатоцільового використання, що в результаті призводить до розширення парку апаратів, необхідних для виконання комплексу задач з моніторингу підводного простору акваторій.

В [2] запропоновано архітектурно-конструктивний тип телекерованих підводних апаратів (ТПА), в якому усунуто недоліки, зазначені вище. Даний тип апаратів побудовано за принципом розділення поступального руху його корпусу та обертального руху встановленого до нього технологічного обладнання (ТО) (відеокамери, маніпулятори, різакі тросів, різноманітні сенсори тощо). Згідно даного принципу ТПА розділяється на два структурних елемента: платформу поступального руху (ППР) корпусу та ТО в підводному просторі та платформу обертального руху (ПОР) ТО відносно ППР.

Основною задачею ППР є доставка ТО в точку підводного простору з координатами, які визначено оператором ТПА та утримання апарата в даній точці. Також до ППР може пред'являтися вимога стабілізації складових швидкості поступального руху. ПОР призначено для стабілізації просторової орієнтації ТО. Таким чином забезпечується керована зміна положення ТО за шістьма ступенями свободи.

Складна структура та нелінійність ТПА, побудованого за принципом розділення поступального та обертального рухів, як об'єкта керування, невизначеність та нестаціонарність параметрів ППР та ПОР суттєво ускладнюють процес ручного керування ТПА. Отже, актуальною є задача автоматизації керування рухом ТПА, який організовано за принципом розділення поступального та обертального рухів.

Враховуючи особливості керування рухом ТПА, систему автоматичного керування його рухом пропонується реалізувати у вигляді двох незалежних регуляторів, один з яких керує поступальним рухом ППР, а інший – обертальним рухом ПОР. Регулятори системи пропонується будувати з використанням підходу адаптивного інверсного керування на базі штучних нейронних мереж [3]. Реалізацію даного підходу розглянемо на прикладі регулятора поступального руху, який пропонується будувати за структурою, наведеною на рис. 1.

Інверсна модель ППР є нейронною мережею, яка за вектором координат точки-завдання $\vec{P}_{PMPr}$ формує матрицю сигналів керування u :

$$u = f(\vec{P}_{PMPr}, P_{PMPr\Delta}, u_{\Delta}, W_{IM}),$$

де $P_{PMPr\Delta}$ – матриця, яка містить попередні стани вектора $\vec{P}_{PMPr}$ впродовж проміжку часу Δ ; u_{Δ} – матриця, яка містить попередні стани сигналів керування u ; W_{IM} – матриця вагових коефіцієнтів нейронних зв'язків інверсної моделі; $f(\cdot)$ – матрична функція, яка розраховує реакцію нейронної мережі на вхідні сигнали.

Сигнал u подається на вхід прямої моделі ППР, яка за цим сигналом, його попередніми станами та попередніми станами власного виходу $\vec{P}_{M\Delta}$ апроксимує динаміку руху ППР. Різниця $\vec{\varepsilon}_M = \vec{P}_{PMPr} - \vec{P}_M$ між вектором координат положення ППР в базовій системі координат $\vec{P}_{PMPr} = \vec{P}_{PMPr} + \vec{P}_S$ та виходом $\vec{P}_M$ є входом алгоритму адаптації прямої моделі ППР, який реалізує вираз:

$$W_M = h(u, u_{\Delta}, P_{M\Delta}, W_M, \vec{\varepsilon}_M),$$

де W_M – матриця вагових коефіцієнтів нейронних зв'язків прямої моделі; $h(\cdot)$ – матрична функція, яка реалізує алгоритм адаптації вагових коефіцієнтів нейронної мережі. Вектор $\vec{P}_{PMPr}$ містить координати точки розташування ППР відносно судна-носія, а вектор $\vec{P}_S$ – координати судна-носія в базовій системі координат.

Інверсна модель формує сигнал керування u без врахування впливу зовнішніх збурень на динаміку руху ППР, тому виходом регулятора є матриця сигналів $u_{PMPr} = u + u_w$, де u_w – сигнал керування, який компенсує зовнішні збурення. Сигнал u_w формується компенсатором збурень:

$$u_w = f(\vec{w}, w_{\Delta}, u_{w\Delta}, W_D),$$

де $\vec{w}$ – вектор складових збурення; w_{Δ} – матриця, яка містить попередні стани сигналів збурення; $u_{w\Delta}$ – матриця, яка містить попередні стани сигналів компенсації збурень; W_D – вагові коефіцієнти нейронних зв'язків компенсатора збурень.

Сигнал збурення формується окремою нейронною мережею, вагові коефіцієнти зв'язків якої є копіями відповідних коефіцієнтів прямої моделі платформи поступального руху. Дана мережа реалізує закон:

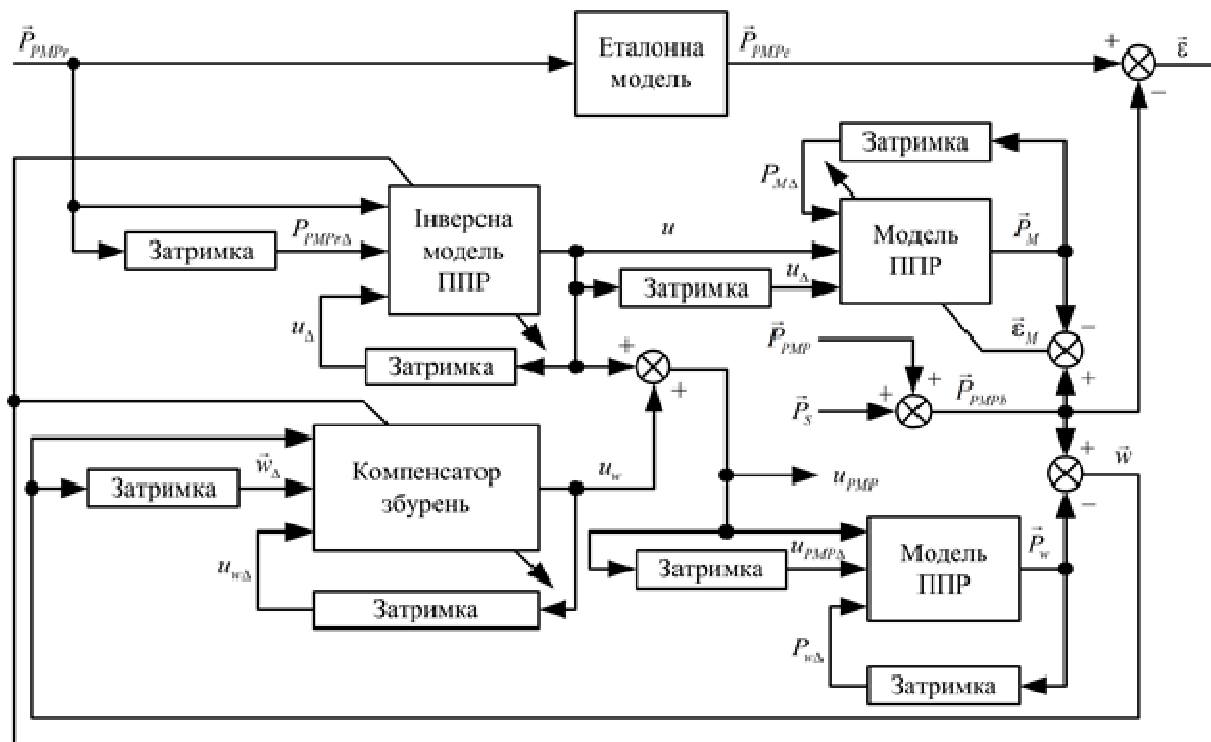


Рис. 1

$$w = \vec{P}_{PMPb} - \vec{P}_w; \vec{P}_w = f(u_{PMP}, u_{PMP\Delta}, P_{w\Delta}, W_M),$$

де u_{PMP} – матриця сигналів керування рухом ППР; $u_{PMP\Delta}$ – матриця, яка містить попередні стани сигналів керування рухом ППР; $\bar{P}_w$ – вектор координат ППР, який було б отримано при відсутності збурень; $P_{w\Delta}$ – матриця, яка містить попередні стани вектора $\bar{P}_w$.

Адаптація інверсної моделі та компенсатора збурень виконується за похибкою системи керування $\bar{\varepsilon} = \bar{P}_{PMPe} - \bar{P}_{PM Pb}$, де вектор $\bar{P}_{PMPe}$ є виходом еталонної моделі перехідного процесу, який визначається за виразом:

$$\vec{P}_{PMPe} = g(\vec{P}_{PMPr}),$$

де $g(\cdot)$ – матрична функція, яка реалізує бажаний перехідний процес.

Закон адаптації інверсної моделі ППР має вигляд:

$$W_{IM} = h(\vec{P}_{PMP_r}, P_{PMP_r \wedge}, u_{\wedge}, W_{IM}, \vec{\varepsilon}).$$

А вагові коефіцієнти компенсатора збурень визначаються за виразом:

$$W_D = h(\vec{w}, w_\Lambda, u_{w\Lambda}, W_D, \vec{\varepsilon}).$$

Таким чином, інверсна модель формує сигнал керування просторовим рухом ППР урахуванням нелінійної природи параметрів платформи. А вплив невизначених зовнішніх збурень на керований рух ППР усувається сигналом від компенсатора зовнішніх збурень.

Висновки. Запропоновано структуру системи автоматичного керування рухом телекерованого підводного апарата для моніторингу акваторій, який побудовано за принципом розділення поступального руху його корпусу та обертowego руху його технологічного обладнання. Застосування методу адаптивного інверсного керування, на основі якого реалізуються регулятори системи, дає змогу суттєво зменшити вплив нелінійних властивостей телекерованого підводного апарата та невизначених зовнішніх збурень.

Список використаних джерел

1. Стратегія національної безпеки України [Електронний ресурс]: офіц. текст : [введено в дію Указом Президента України від 26.05.2015 № 287/2015]. – Київ: Рада Національної безпеки і оборони України, 2015. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/287/2015>
2. Blintsov, O. Architectural and structural type of self-propelled tethered underwater vehicles with improved maneuverability [Text] / O. Blintsov // Underwater Technologies. Enterprise and Civil Engineering. – 2016. – Vol. 3. – Pp.31-40.

3. Widrow, B., Walach E. Adaptive Inverse Control: A Signal Processing Approach: Reissue Edition [Text] / B. Widrow, E. Walach. – New Jersey: John Wiley & Sons, 2007. – 508 p.

УДК 629.5

Грудініна Г. С.

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

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ АНПА З ГРЕБНИМ ГВИНТОМ В ПОВОРОТНІЙ НАСАДЦІ

На даному етапі розвитку підводних технологій все більше уваги приділяють рушійно-стерновому комплексу «гвинт – поворотна насадка». Даний рушійно-стерновий комплекс (РСК) досить ефективно зарекомендував себе для автономних ненаселених підводних апаратів (АНПА).

Такий комплекс встановлюється на поворотній колонці, що забезпечує поворот комплексу в необхідне по відношенню до апарата положення, та забезпечує перекладку на кут від 0 градусів до 360 [1].

В наслідок зміни кута потоку, що набігає на гребний гвинт, значно змінюються гідродинамічні характеристики РСК.

Так, при перекладанні насадки на кут δ_n симетричність її обтікання потоком рушія порушується, що призводить до появи складової швидкості потоку $\bar{U}_n$, усереднений напрям якої може бути прийнято перпендикулярним до осі насадки. Тоді, вісь потоку комплексу, відповідно до рівності $\bar{U}_\delta = \bar{U} - \bar{U}_n$, відхиляється від осі гребного валу в ту ж сторону що і насадка на деякий кут δ_c . Цей кут залежить від відносної довжини насадки $\bar{I}_n$ і може бути виражений наступним чином:

$$\delta_c = \theta_n \delta_n = (1 - a_n \delta_n) \delta_n, \quad (1)$$

де a_n коефіцієнт апроксимації, який для насадок без стабілізатора, визначається за виразом:

$$a_n = 0,04838 - 0,067865 \bar{I}_n + 0,023328 \bar{I}_n^2. \quad (2)$$

Проектування комплексу «гвинт – поворотна насадка» здійснюється виходячи із задоволення одночасно вимог рухомості і керованості апарата. Діаметр гребного гвинта (ГГ), коефіцієнти розширення насадки визначаються з розрахунку рухомості, а відносна довжина і розміри насадки – з вимог керованості. Якщо оптимальна відносна довжина ходової насадки дорівнює 0,55-0,65, то відносну довжину поворотної насадки збільшують до 0,8-1,0 [3]. Конструктивно, комплекс показано на рисунку 1.

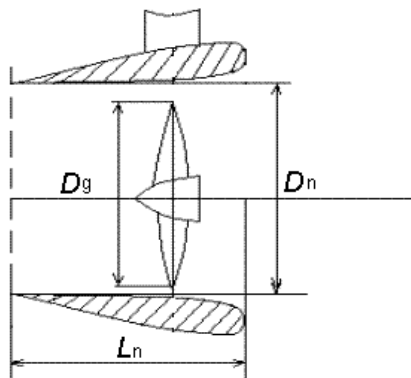


Рис. 1. Рушійно-стерновий комплекс «гвинт – поворотна насадка»: D_n – внутрішній діаметр насадки; D_g – діаметр гвинта; L_n – довжина насадки

При перекладанні насадки (рис. 2) упор комплексу $\bar{P}_k$ розкладається на дві складові: реакцію відхиленого на кут δ_c потоку $\bar{P}_\delta$, і додаткову реакцію $\bar{R}_\delta$, що виникає при набіганні частини потоку на відхилений профіль поворотної насадки. Тому:

$$\bar{P}_\delta = \bar{P}_k - \bar{R}_\delta. \quad (3)$$

Проектування рівності (3) на діаметральну та горизонтальну площини (рис.2) дозволяє отримати наступний результат [2]:

$$P_x = P_\delta \cos \delta_c = P_k (1 - \sin^2(\theta_n \delta_n)), \quad (4)$$

$$P_y = P_\delta \sin \delta_c = P_k \sin(\theta_n \delta_n) \cos(\theta_n \delta_n). \quad (5)$$

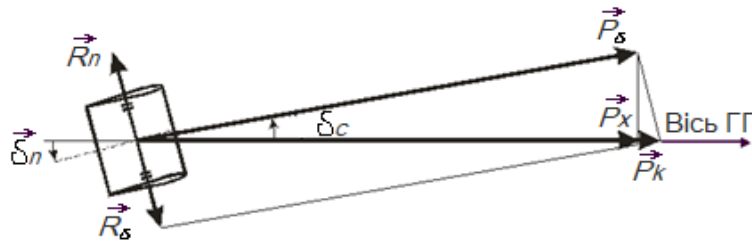
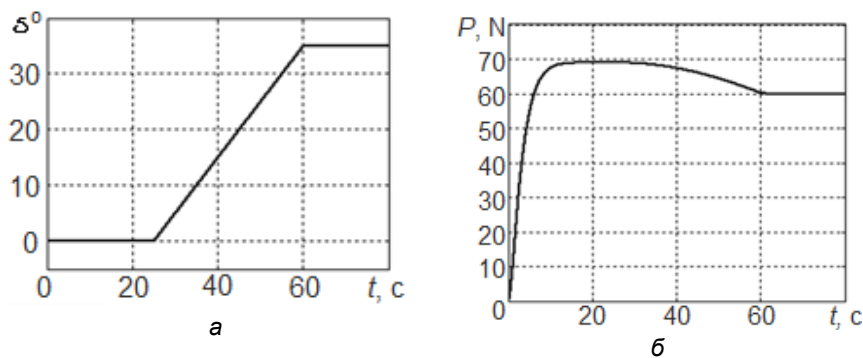


Рис. 2. Схема сил, що створюються рушієм під час перекидання насадки

Для перевірки працездатності даної математичної моделі розроблено Simulink-модель та виконано дослідження впливу скошеного потоку води, що набігає на РСК типу «гребний гвинт – поворотна насадка», для АНПА з наступними характеристиками: маса – 60 кг; швидкість ходу – 1 м/с; діаметр гребного гвинта – 160 мм; діаметр поворотної насадки – 166.4 мм; відносна довжина поворотної насадки – 1.0.

На рисунку 3 представлено результат моделювання руху АНПА на плоскій циркуляції з перекидкою насадки на кут 35° .

Рис. 3. Результати моделювання руху АНПА під час перекидання насадки на кут 35° :

а – кут перекидки керма; б – сила упору ГГ

Список використаних джерел

1. Бражко А. С. Моделирование работы гребного винта в насадке в косом набегающем потоке [Текст] / А. С. Бражко, Ю. М. Король // Збірник наук. праць НУК.– №1. – 2013. – С. 12–16.
2. Бажанкин Ю.В. Анализ взаимодействия гребного винта с рулевым органом судна [Текст] / Ю.В. Бажанкин // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – №1. – 2011. – С. 11–15.
3. Винт–поворотная насадка [Електронне видання] / Студопедия // точка доступу: https://studopedia.ru/7_23738_vint-povorotnaya-nasadka.

УДК 621.314.621

Запороженко В. С., Крітцький С. А., Овсянников В. М., к.т.н.

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв

СТИСЛИЙ МОНІТОРИНГ ІНОЗЕМНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ

Безпілотні підводні апарати (БПА) на даний час мають впливове значення на технологію проведення океанографічних досліджень і техніку виконання робіт в морі. Так за останні 40 років в високорозвинених державах, які займають провідне становище в області морських технологій, було створено понад 13 тисяч самохідних безпілотних підводних апаратів [1]. За допомогою таких БПА вирішувалися завдання широкого кола. Безпілотні підводні апарати продемонстрували свою ефективність при виконанні аварійно-рятувальних, оглядово-пошукових та науково-дослідних робіт. Сучасний стан та загальні тенденції розвитку цієї категорії робототехнічних засобів розглянемо на прикладі апаратів іноземного виробництва. Попри всю різноманітність самохідних БПА (за конструктивним виконанням, за цільовим призначенням, за типом енергосилової установки, за масогабаритними показниками) загальноновизнаної класифікації в цьому класі робототехніки ще не склалося. Тому в зарубіжних публікаціях, присвячених аналізу стану і прогнозу розвитку БПА, наводяться досить суперечливі факти і статистичні відомості. Огляд вітчизняних і зарубіжних публікацій в галузі підводної техніки дозволив сформулювати найбільш загальний і несуперечливий умовний розподіл самохідних

незаселених БПА (рис. 1). В вітчизняній літературі такі апарати найчастіше називають незаселеними підводними апаратами (НПА).

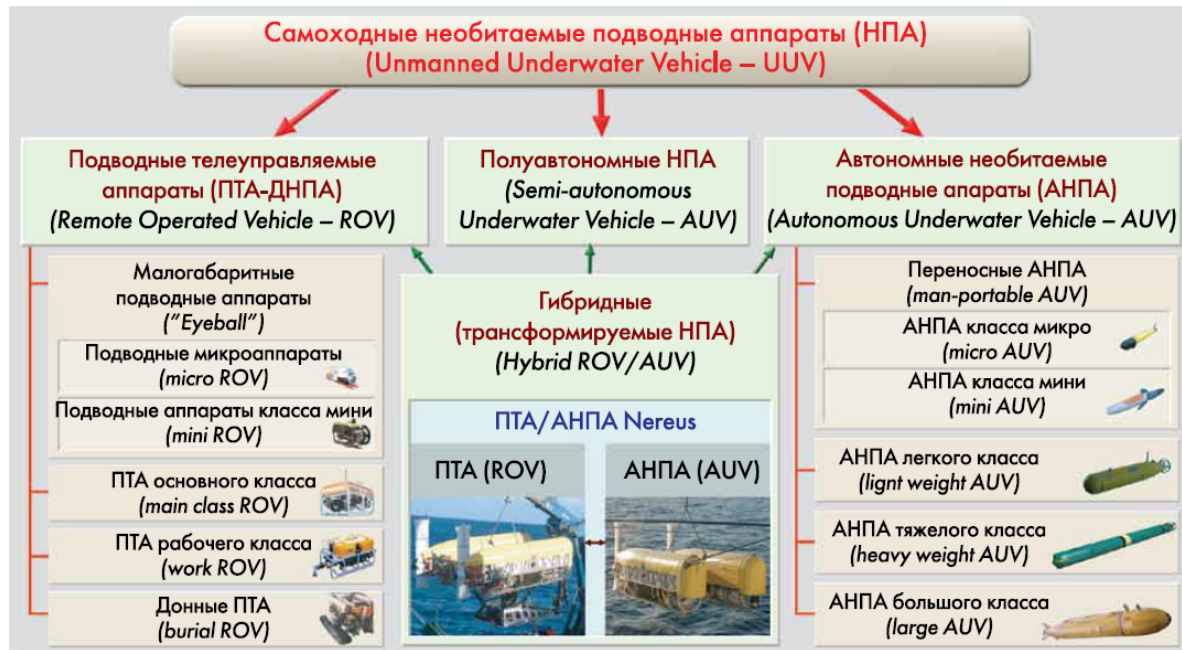


Рисунок 1 - Класифікація самохідних НПА (АНПА – по програмам ВМС США)

Всі самохідні НПА (UUV - Unmanned Underwater Vehicle) поділяють на два великих підкласи: неавтономні прив'язні (НППА) і автономні безпілотні підводні апарати (АНПА). До неавтономних НПА відносять апарати, які буксуються за допомогою судна-носія, та апарати, які переміщуються самостійно без допомоги судна-носія (самохідні прив'язні підводні апарати). Далі в класі неавтономних НПА будуть розглядатися тільки самохідні апарати (апарати з рушійною установкою). Неавтономні НПА з рушійною установкою (самохідні НППА) за кордоном називають дистанційно-керованими апаратами (Remote Operated Vehicle - ROV). У вітчизняній літературі ці апарати найбільш часто називають підводними телекерованими апаратами (ПТА). Причому для віднесення апарату до цього класу принципово важливим є наявність мережевого каналу енергозабезпечення та телеуправління (кабель-зв'язки). Самохідні НПА можуть бути плаваючими в товщі води, самохідними донними, або з комбінованим типом руху. До автономних безпілотних підводних апаратів відносяться самохідні НПА з автономною системою енергозабезпечення та, як правило, бездротовим каналом телеуправління і зв'язку. НПА з автономною системою енергозабезпечення, але з мережевим каналом управління і зв'язку (зазвичай на основі волоконно-оптичної лінії зв'язку), складають клас напівавтономних апаратів. Прикладом такого напівавтономного НПА може служити апарат проекту NMRS (Nearterm Mine Reconnaissance System), розроблений компанією Northrop Grumman на замовлення ВМС США [2]. Треба відзначити, що поділ НПА за ознакою автономності сформувався в процесі еволюції цього виду техніки. І під автономністю розуміється, перш за все, енергетична незалежність апарату від судна-носія. Таким чином, телекерованими можуть бути як автономні, так і неавтономні апарати. Самохідні НПА вже сформувалися в досить представницький клас робото-технічних засобів, на що вказує понад 500 різних проектів та виготовлених зразків. У розробці та виробництві самохідних НПА на даний час лідирують США, Великобританія, Канада, Франція, Німеччина і Японія а також Південна Корея. За цільовим призначенням і особливостям технічного оснащення неавтономні НПА поділяють на кілька класів (рис. 2). Поділ неавтономних НПА на мікро- і міні апарати вже давно використовується в зарубіжній літературі. Однак така класифікація не має чітких меж, а тому не однозначна. Апарати цих класів можна віднести до виробів мікросистемної техніки, сформованим в результаті мініатюризації всіх систем незаселених підводних апаратів. Тому зупинимося на наступній умовній класифікації неавтономних НПА по масі апарату: мікро (маса менше <5 кг); міні (маса 5-30 кг); легкі (30-500 кг); середні (500-5000 кг); і важкі (більше 5000 кг).

Клас підводних мікроапаратів (micro ROV) сформувався відносно недавно і об'єднує апарати масою не більше 5 кг. Таки пристрої, як правило, призначені для виконання оглядово-пошукових робіт на глибинах до 100-150 м. Підводні малогабаритні апарати (mini ROV) - це самохідні НПА з масою від 5 до 30 кг.

Апарати основного класу призначені для вирішення пошукових, інспекційних і оглядових завдань, виконання легких механічних робіт в товщі води і проведення вимірювань параметрів водного середовища. Їх типові характеристики: максимальна робоча глибина - до 3000 м (в більшості проектів - до 1000 м); радіус дії (максимальне видалення від судна-носія) - до 150 м (в окремих випадках до 1000 м); швидкість підводного ходу - до 2,5 вузлів; маса - до 350 кг.

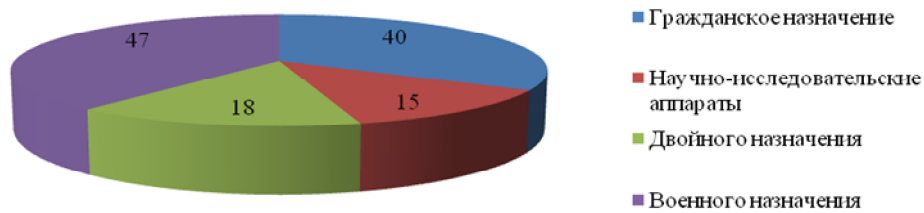


Рисунок 2 – Розподіл НПА за призначенням

Апарати для проведення підводно-технічних робіт (аварійно-рятувальних, пошукових, інженерно-будівельних і ремонтних) містять досить складне навісне обладнання (рис. 3). Відповідно до чого цей клас НПА має масу від 30 до 6000 кг.

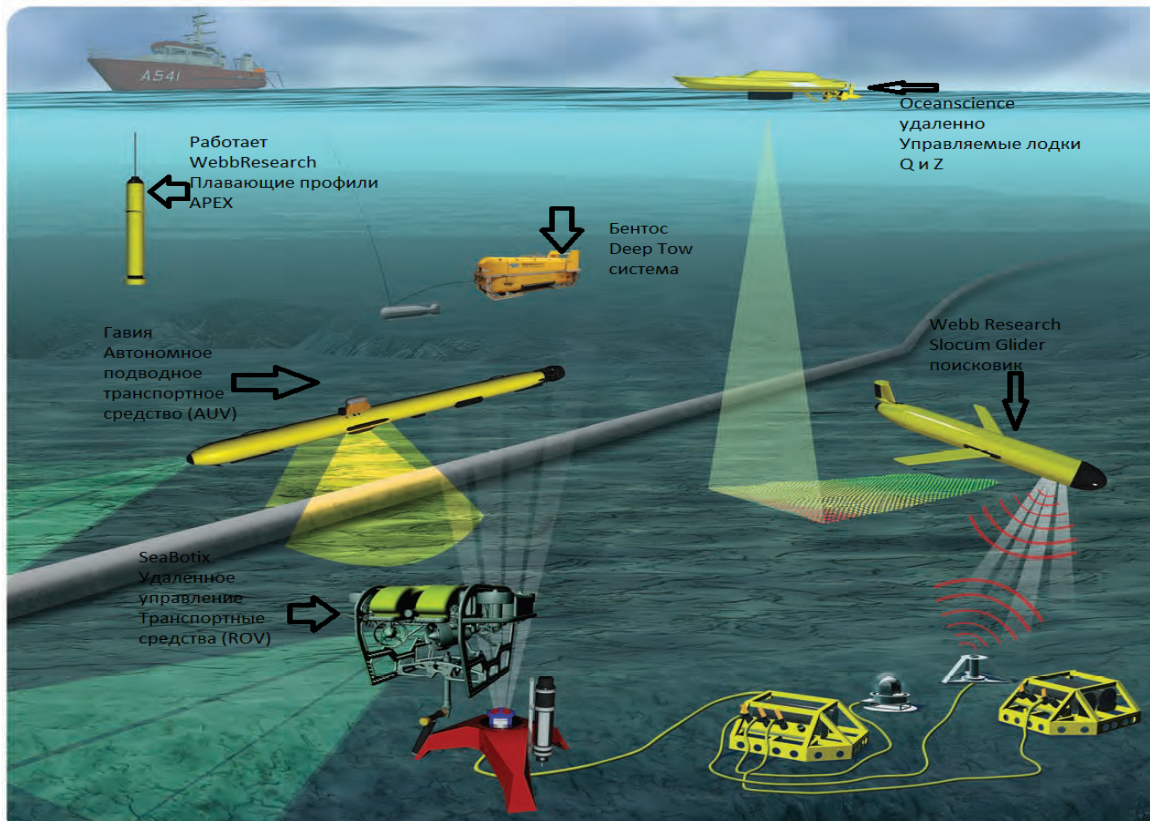


Рисунок 3 - Приклад використання НПА в пошукових роботах

Апарати виробництва Deep Ocean Engineering продемонстрували новітні досягнення в створенні сімейства підводних безпілотних комбінованих апаратів. Наприклад, НПА Phantom T5, ROV (рис. 4) покликаний стати потужним, надійним зразком, портативною і легко розширеною системою.



Рисунок 4 – НПА Phantom T5 [2]

Згідно технічної документації, додатки для Phantom T5 охоплюють широкий спектр можливостей. В якості основних таких складових можна назвати:

- Внутрішня безпека (оборона, військові, митниця, поліція);
- Моніторинг гідроелектричної системи;
- Інфраструктурні перевірки (мости, тунелі, трубопроводи, корпуси суден);
- Наукові дослідження (геологія, біологія, археологія);

- Дослідження (нафта і газ, порятунк, S & R);
- Кінематографія (відео, фотографії, фільми).

За конструктивним виконанням НПА Phantom T5 має наступні переваги:

- Доступні для користувача джерела живлення;
- Мінімальна площа опори, що забезпечує швидке розгортання НПА;
- Високопродуктивні двигуни з магнітним зв'язком (максимальне відношення тяги до ваги);
- Стійкі до корозії поліпропіленові шасі;
- Автоматичні функції (включаючи автозаправку, авто-глибину, автоматичну стабілізацію і авто-висоту).

Можливості океанографічних дослідницьких безпілотних апаратів та їх потенційний вплив на морську розвідку добре продемонстровано в жовтні 2014 року, коли відбулося найбільше розгортання морських автономних транспортних засобів у британських водах. У рамках широкомасштабної дослідницької роботи структура з семи USVs і AUV зробили моніторинг 300-мильної зони в районі Атлантичного океану. Ціллю моніторингу було тестування нових морських технологій та дослідження океанської поверхні.

Викладене можна прокоментувати одним реченням: вік сучасних розвинених технологій вимагає створення все більшої й більшої кількості безпілотних підводних апаратів.

Список використаних джерел

1. Л.Бочаров. [Необитаемые подводные аппараты: состояние и общие тенденции развития](#) // Журнал "Электроника: Наука, технология, бизнес" 7/2009.
2. http://nitroflare.com/view/ABFC4D35682F6F0/Marine_Technology_Reporter_-_January_2016.pdf. Mirror.

СЕКЦІЯ 6. ІМПУЛЬСНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.319.4

Гулько В. И., Перекупка И. А., Топоров С. О.

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ С ВЫСОКИМИ УДЕЛЬНЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

В разрядно-импульсных установках в качестве накопителей электрической энергии применяются высоковольтные импульсные конденсаторы, к которым предъявляются требования по снижению габаритных размеров и повышению их надёжности. Одним из возможных путей решения поставленной задачи является повышение удельных энергетических характеристик высоковольтных импульсных конденсаторов при сохранении величины ресурса, что возможно за счёт использования в качестве рабочего диэлектрика секций конденсаторов материалов с высокой электрической прочностью и низким тангенсом угла потерь, например, полимерных плёнок.

Целью данной работы является рассмотрение тенденций создания высоковольтных импульсных конденсаторов для разрядно-импульсных установок различного назначения.

Для достижения цели работы был проведен обзор научно-технической и информационной литературы [1-12]. Трудность проведения обзора заключалась в том, что высоковольтные импульсные конденсаторы, в отличие от других типов электрических конденсаторов, являются специфическим изделием. Эти конденсаторы изготавливаются малыми партиями и под определенный заказ, они могут использоваться одновременно как в гражданских, так и в военных технологиях, и поэтому информация по ним носит в основном рекламный характер. Например, для отдельных типов конденсаторов отсутствует информация по их конструктивным особенностям, режимам и условиям эксплуатации, ресурсу.

При изучении деятельности ведущих фирм-производителей на рынке высоковольтных импульсных конденсаторов было выявлено следующее:

- такие фирмы-производители как «Simmens», Германия и «BICC», Великобритания ушли с рынка высоковольтных импульсных конденсаторов [1, 2];
- ОАО «Серпуховский конденсаторный завод КВАР», Россия, АО «Усть-Каменогорский конденсаторный завод», Казахстан, фирма «Eurofarad», Франция, резко сократили номенклатуру производимых высоковольтных импульсных конденсаторов, переключившись на другие типы конденсаторов – для электронной промышленности или силовые, такие как косинусные, термические, связи и др. [3-5];
- на базе фирм-производителей, таких как НПО «Позитрон», г. Санкт-Петербург, Россия и Всероссийский электротехнический институт (ВЭИ), г. Москва, Россия образовались новые фирмы-производители – ЗАО «Элкод» и ЗАО «Русская технологическая группа» соответственно, которые расширили номенклатуру выпускаемых ранее конденсаторов [6, 7, 12];
- компания «General Atomics», г. Сан-Диего, США, расширила номенклатуру и объем выпускаемых конденсаторов за счет переноса своих производственных мощностей в Китай, обладающий дешевой рабочей силой [8];
- на рынке высоковольтных импульсных конденсаторов появилась новая фирма-производитель – Институт сильноточной электроники Сибирского отделения (ИСЭ СО) РАН, г. Томск, Россия. Пока она производит конденсаторы для внутреннего потребления, но, учитывая ее мощный научный и производственный потенциал, возможно расширение ее влияния на исследуемом рынке [9];
- Институт импульсных процессов и технологий (ИИПТ) НАН Украины, г. Николаев, Украина, и Научно-исследовательский проектно-конструкторский институт (НИПКИ) «Молния», г. Харьков, Украина, расширили номенклатуру выпускаемых высоковольтных импульсных конденсаторов [10, 11].

Все эти фирмы в своих перспективных разработках применяют в качестве рабочего диэлектрика секций конденсаторов полимерные плёнки, в основном такие, как полипропиленовая и полиэтилентерефталатная. Так, ЗАО «Русская технологическая группа» совместно с ВЭИ, г. Москва, Россия создана серия конденсаторов типа КПИ на основе полиэтилентерефталатной плёнки с удельной запасаемой энергией 0,1, 0,2 и 0,3 Дж/г при рабочей напряжённости электрического поля в диэлектрике от 250 до 300 кВ/мм.

Фирмой «General Atomics», г. Сан-Диего, США для повышения удельных энергетических характеристик своих конденсаторов наряду с применением плёночного диэлектрика начали применяться вместо фольговых обкладок обкладки из напыленного слоя металла. Применение в конструкции конденсаторов серии CMF плёночной диэлектрической системы и металлизированных обкладок позволило достичь удельной запасаемой энергии 0,9 Дж/г при ресурсе конденсатора 10^4 зарядов-разрядов и 1,6 Дж/г – при ресурсе 10^3 зарядов-разрядов.

Проведенные исследования показали, что применение в конденсаторах рабочего диэлектрика на основе полипропиленовой и полиэтилентерефталатной плёнок, а также их комбинаций, с пропиткой маловязкой неполярной жидкостью, позволяет повысить, по сравнению с применяемым ранее бумажно-плёночным диэлектриком, удельную запасаемую энергию от 1,3 до 2 раз при одинаковом ресурсе или более чем на порядок (от 25 до 40 раз) повысить ресурс конденсатора при одинаковой величине удельной запасаемой энергии, в зависимости от диэлектрической системы.

Использование плёночного диэлектрика позволяет также снизить примерно в четыре раза энергозатраты, связанные с изготовлением конденсаторов, значительно сократить длительность цикла их изготовления, а, следовательно, снизить стоимость конденсаторов.

В заключении можно сделать следующие **выводы**, что при создании энергоёмких высоковольтных импульсных конденсаторов имеют место следующие тенденции:

- применение рабочего диэлектрика на основе полимерных плёнок, таких как полипропиленовая и полиэтилентерефталатная, а также их комбинаций;
- применение, помимо фольговых обкладок, обкладок из напыленного на полимерные плёнки слоя металла.

Список использованных источников

- 1 Siemens. Home. Energy. Power transmission. High Voltage Products. Capacitors. – <http://www.energy.siemens.com/hq/en/power-transmission/high-voltage-products/capacitors.htm>.
- 2 BICC capacitors. Catalogs. General cable. – <http://www.generalcable.com>.
- 3 Силовые конденсаторы и блоки конденсаторов. ОАО Серпуховский конденсаторный завод «КВАР». – http://www.kvar.su/pover_cond.html.
- 4 Конденсаторы специальные высоковольтные, низковольтные и импульсные. Продукция. Усть-Каменогорский конденсаторный завод. – <http://www.ukkz.com/?products=product01>.
- 5 List of our products. Eurofarad. – http://www.exxelia.com/index.php?id=20&fp_marque=1&fp_cat=1.
- 6 Конденсаторы широкого диапазона характеристик на сайте. Элкод. – <http://www.elcod.spb.ru/catalog.asp>.
- 7 Конденсаторы импульсные. ЗАО «Русская технологическая группа». – <http://www.rustechgroup.ru/rus/index.htm>.
- 8 General Atomics Energy Products. High Voltage Capacitors. – <http://www.gaep.com/capacitors.html>.
- 9 Конденсаторы импульсные. Институт сильноточной электроники СО РАН. – <http://www.hcei.tsc.ru/ru/cat/publications/publ2007.html>.
- 10 Высоковольтные импульсные конденсаторы. Технологии. Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины. – http://iipt.com.ua/tech_10.htm.
- 11 Рудаков В.В. Высоковольтные импульсные конденсаторы разработки НИПКИ «Молния», НТУ «ХПИ» [Текст] / В.В. Рудаков, Н.И. Бойко, В.Д. Беспалов // Сб. науч. тр. «Электротехника и преобразовательная техника». Вестник Национ. техн. ун-та «ХПИ». – Харьков, 2002. – С. 47 – 58. – ISBN 966-593-226-8.
- 12 Владимиров, Г.А. Мощные генераторы импульсных напряжений [Текст] / Г.А. Владимиров, И.В. Ермилов, Н.В. Жуков // Сб. науч. тр. «Импульсные высоковольтные системы электропитания. Разработка и исследование высоковольтных и полупроводниковых приборов и устройств» Всесоюз. электротех. ин-та. – М., 1990. – С. 7.
- 13 Гребенников, И.Ю. О повышении удельных характеристик и ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов / И.Ю. Гребенников, В.И. Гунько, А.Я. Дмитришин, Л.И. Онищенко, И.С. Швеца // Электронная обработка материалов. – 2004. – №5. – С. 70-74.

УДК 681.51:537.523: 661.666.4:667.64

Богуславський Л. З., к.т.н., Козирев С. С., к.т.н., Радчук О. М.

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

Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м. Миколаїв

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНИМ СИНТЕЗОМ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОПОКРИТТІВ НА МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХНЯХ

Метод високочастотного електророзрядного синтезу вуглецевих наноматеріалів на металевих поверхнях з вуглецевовмісних газів, розроблений в ІПТТ НАН України, дозволяє одночасно синтезувати нановуглець з opion-like структурою і формувати на його основі наноструктуровані покриття [1]. Для впровадження даного методу в промислове виробництво і забезпечення ефективності електророзрядного синтезу необхідно забезпечити керованість технологічного процесу синтезу нановуглецю на металевих поверхнях на всіх його стадіях.

Метою роботи є побудова системи керування режимом розряду в процесі електророзрядного синтезу нановуглецю на металевих поверхнях з вуглецевовмісних газів для підтримки продуктивного режиму синтезу вуглецевих наночастинок з onion-like структурою на металевій поверхні.

За результатами проведених досліджень встановлено, що значення параметрів нерівноважної плазми, що забезпечують продуктивний режим синтезу вуглецевих наноматеріалів з onion-like структурою, залежать від потужності, введеної в канал розряду. Таким чином, продуктивний режим синтезу обмежується певним значенням потужності в каналі розряду.

При постійній напрузі на вході електротехнічної системи, межі продуктивного режиму синтезу будуть визначатися інтервалом значень вхідного струму $I \in \Delta I_{\text{пр}}$, що відповідає обраному інтервалу довжини міжелектродного проміжку. Наявність меж значень струму продуктивного режиму синтезу, при фіксованій напрузі живлення, дозволяє накласти обмеження на поточну величину струму для запобігання виходу з продуктивного режиму синтезу вуглецевих наноматеріалів з onion-like структурою. Розроблена система керування режимом розряду в газовому середовищі реакційного об'єму забезпечує підтримку значень розрядного струму в заданому діапазоні $I \in \Delta I_{\text{пр}}$. Блок-схема системи керування наведена на рис. 1

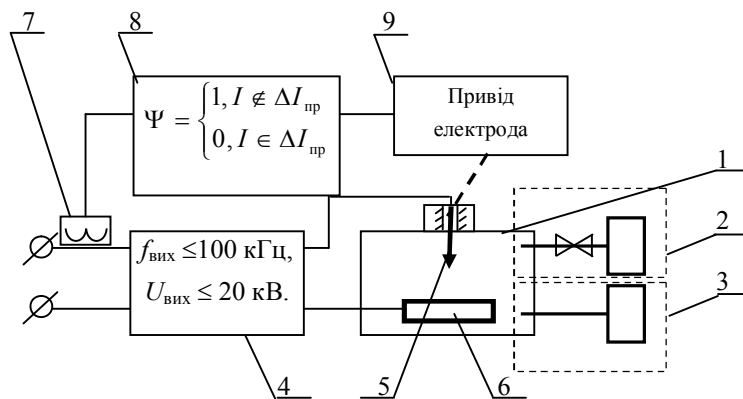


Рис. 1. Блок-схема системи керування режимом розряду

Таким чином забезпечується отримання достатньої кількості плазми для утворення вуглецевих наноструктурних матеріалів з onion-like структурою, а також підтримуються електродинамічні і термодинамічні характеристики нерівноважної плазми, які необхідні для створення вуглецевих покриттів заданої наноструктури з малим статистичним розсіюванням їх розмірів.

Висновки. Створена система керування режимом розряду в газовому середовищі реакційного об'єму, дозволяє підтримувати величину струму в діапазоні продуктивного режиму і забезпечує отримання достатньої кількості плазми для утворення вуглецевих наноструктурних матеріалів, а також дозволяє забезпечити електродинамічні і термодинамічні характеристики нерівноважної плазми, які необхідні для створення вуглецевих нанопокриттів з onion-like структурою і малим статистичним розкидом їх розмірів.

Список використаних джерел

1. Пат. 95543 Україна МПК C01B 31/02 (2006.01), H05H 1/24 (2006.01), H05H 1/32 (2006.01). Спосіб одержання вуглецевих наноматеріалів (варіанти) / Л.З. Богуславський, Д.В. Вінниченко, Н.С. Назарова (Україна); заявник і патентовласник ІПТТ НАН України. – № а 2010 01186; заявл. 05.02.2010; Опубл. 10.08.2011 р., Бюл.№ 15. – 9 с.

УДК 681.51:537.523: 661.666.4:667.64

Назарова Н. С., к.т.н., Козирєв С. С., к.т.н., Гаврилов А. О.

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

Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м. Миколаїв

АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНИМ СИНТЕЗОМ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ

У ІПТТ НАН України розроблено метод високочастотного електророзрядного синтезу вуглецевих наноматеріалів з вуглецевовмісних газів, який дозволяє синтезувати нановуглець з onion-like структурою [1]. Для забезпечення керованості процесу синтезу нановуглецю необхідно розробити алгоритм керування.

Координатами вектора стану режиму розряду в реакційному об'ємі, які забезпечують технологічний результат синтезу нановуглецю, керуючись дослідженнями електрофізичних характеристик високовольтної об-

робки газоподібних вуглеводнів, можна вважати наступні параметри: U_p – робоча напруга синтезу; $I_{роз}$ – розрядний струм; P – споживана потужність, l – довжина розрядного проміжку і T – температура в реакційному об'ємі.

За результатами проведених досліджень встановлено, що значення параметрів нерівноважної плазми, що забезпечують продуктивний режим синтезу вуглецевих наноматеріалів з onion-like структурою, залежать від потужності, введеної в канал розряду. Таким чином, продуктивний режим синтезу обмежується певним значенням потужності в каналі розряду.

При стабілізованому розрядному струмі $I_{роз}$, і лінійному характеру залежності робочої напруги синтезу U_p від довжини розрядного проміжку l , потужність буде пропорційно залежати від довжини каналу розряду.

При постійній напрузі на вході електротехнічної системи, межі продуктивного режиму синтезу будуть визначатися інтервалом значень вхідного струму $I \in \Delta I_{пр}$, що відповідає обраному робочому інтервалу довжини міжелектродного проміжку. Наявність меж значень струму продуктивного режиму синтезу, при фіксованій напрузі живлення, дозволяє накласти обмеження на поточну величину струму для запобігання виходу з продуктивного режиму синтезу вуглецевих наноматеріалів з onion-like структурою.

З метою визначення оптимального закону керування і критерію оптимальності проведено дослідження функції втрат режиму розряду в газовому середовищі реакційного об'єму в процесі синтезу вуглецевих наноматеріалів. Необхідною умовою синтезу є знаходження значення струму в діапазоні $I \in \Delta I_{пр}$, який забезпечує продуктивний режим. При невиконанні цієї умови синтез не відбувається і втрати рівні енергії в розрядному імпульсі W , тому функцією втрат для одиничного розряду буде:

$$\Pi_i = \begin{cases} 0, & I \in \Delta I_{пр} \\ W, & I \notin \Delta I_{пр} \end{cases}$$

а при неперервній роботі – $\Pi_N(W) = \sum_{i=1}^{N_0} w_i$, де N – загальне число імпульсів, N_0 – число імпульсів зі струмом $I \in \Delta I_{пр}$.

На основі дослідження функції втрат Π_N з урахуванням стохастичності об'єкта прийнято мінімаксний критерій оптимальності системи автоматичного керування: $M(\Pi_N) = M(N_0/N) = \min$ [2]. Такий критерій забезпечує мінімум максимального ризику, в нашому випадку максимально можливих втрат енергії, і вимагає максимальної швидкості повернення системи до продуктивного режиму, тобто система керування повинна бути оптимальною за швидкодією. Основним принципом оптимального управління по швидкодії є принцип максимуму Понтрягіна [3]. Відповідно до принципу максимуму при відхиленні від продуктивного режиму, коли значення струму виходить із допустимого діапазону $I \in \Delta I_{пр}$, керуюча функція повинна миттєво приймати максимальне значення, що може забезпечити релейний закон керування:

$$\Psi = \begin{cases} 1, & I \notin \Delta I_{пр}, \\ 0, & I \in \Delta I_{пр}. \end{cases}$$

Кількість утворених частинок нановуглецю майже пропорційно залежить від потужності джерела живлення, тобто від величини споживаного струму. Таким чином, для забезпечення найбільшого виходу нановуглецю, необхідно підтримувати значення середньоквадратичного струму в заданому діапазоні $I \in \Delta I_{пр}$. Товщина покриття залежить від тривалості обробки поверхні.

Отримана емпірична залежність струму $I(l)$ від довжини міжелектродного проміжку має лінійний характер, що дозволяє в якості каналу керуючого впливу використовувати величину міжелектродного проміжку l .

Алгоритм роботи системи керування режимом розряду в газовому середовищі реакційного об'єму наведено на рис. 1.

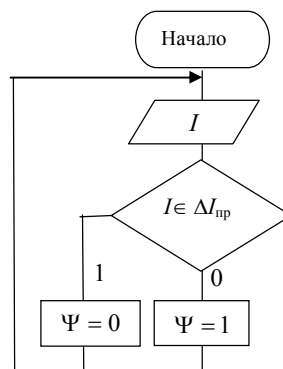


Рис. 1. Алгоритм роботи системи керування режимом розряду

Таким чином, реалізація розробленого алгоритму управління режимом розряду в газовому середовищі, який побудований за мінімаксимним критерієм оптимальності, дозволить підтримувати розрядний струм в заданому діапазоні. Це забезпечить продуктивний режим синтезу вуглецевих наноструктурних матеріалів з onion-like структурою.

Висновки. Розроблено алгоритм керування режимом розряду в газовому середовищі реакційного об'єму, який реалізує мінімаксимний критерій оптимальності, що дозволяє підтримувати величину струму в діапазоні продуктивного режиму і забезпечує отримання достатньої кількості плазми для утворення вуглецевих наноструктурних матеріалів з onion-like структурою.

Список використаних джерел

1. Пат. 95543 Україна МПК C01B 31/02 (2006.01), H05H 1/24 (2006.01), H05H 1/32 (2006.01). Спосіб одержання вуглецевих наноматеріалів (варіанти) / Л.З. Богуславський, Д.В. Вінниченко, Н.С. Назарова (Україна); заявник і патентовласник ІПТТ НАН України. – № а 2010 01186; заявл. 05.02.2010; Опубл. 10.08.2011 р., Бюл.№ 15. – 9 с.
2. Основы автоматического управления / Под ред. В. С. Пугачева. – М.: Наука, 1974. – 720 с.
3. Понтрягин, Л. С. Математическая теория оптимальных процессов / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. – М.: Наука, 1976. – 576 с.

УДК 681.51:537.523: 661.666.4:667.64

Овчиннікова Л. Є., к.т.н., Юркуц Є. Р., Недоступ Ю. С.

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

Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м. Миколаїв

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РУХОМ ЗАГОТОВКИ ПРИ НАНЕСЕНІ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОПОКРИТТІВ

Вуглецеві нанопокриття знаходять застосування в багатьох областях науки, промисловості, техніки і інженерії. Вони використовуються для підвищення міцності матеріалів, поліпшення антикорозійних властивостей, створенні антифрикційних матеріалів, для захисту від різних видів випромінювання.

Синтез вуглецевих наноматеріалів з вуглецевовмісних газів на металевих поверхнях [1, 2] вимагає забезпечення рівномірності покриття поверхні шаром синтезованого нановуглецевого матеріалу. При статичному нерухомому взаєморозташуванні електрода і оброблюваної поверхні забезпечити рівномірність покриття неможливо, оскільки формування каналу розряду є стохастичним процесом, що провокує утворення ущільнень в непередбачуваних місцях.

З метою забезпечення рівномірності нановуглецевих покриттів запропоновано реалізувати керування рівномірним переміщенням оброблюваного зразка поверхні відносно електрода в процесі синтезу нановуглецю з вуглецевовмісних газів. Структурна схема системи керування рухом зразка металевої поверхні відносно електрода приведена на рис. 1.

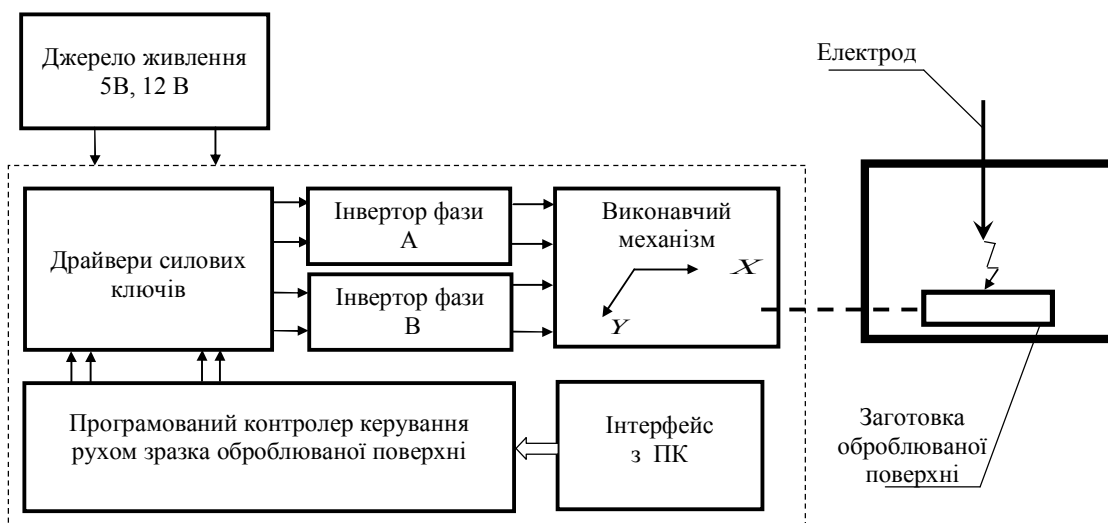


Рис. 1. Структурна схема системи керування рухом зразка оброблюваної поверхні відносно електрода

Для забезпечення руху зразка оброблюваної поверхні відносно електрода розроблено автоматичну мікроконтролерну систему керування виконавчим механізмом, яка забезпечує зворотно-поступальний рух зразка по координаті X і його покрокове переміщення по координаті Y відносно електрода. У процесі отримання нановуглецевих покриттів металевої поверхні зразка переміщують відносно електрода із заданою швидкістю по заданій траєкторії, формуючи тим самим шар покриття необхідної товщини і якості.

Висновки. Розроблено систему керування рухом заготовки оброблюваної поверхні відносно електрода, що забезпечує рівномірність покриття металевої поверхні шаром нановуглецевого матеріалу в процесі електророзрядного синтезу нановуглецю з вуглецевовмісного газу, за рахунок запобігання випадкових ущільнень покриття через стохастичний характер формування каналу розряду.

Список використаних джерел

1. Пат. 113323 Україна, МПК (2016.01) B82B 3/00, C01B 31/00, B82B 3/00 (2006.01), H05H 1/38 (2006.01). Установка для одержання вуглецевих наноматеріалів / Л.З.Богуславський, Д.В.Вінниченко, Н.С.Назарова; заявник і патентовласник ІПТТ НАН України. – № а201502218; заявл. 13.03.15; опубл. 10.01.17, Бюл. № 1. – 6 с.

2. Пат. 95543 Україна МПК C01B 31/02 (2006.01), H05H 1/24 (2006.01), H05H 1/32 (2006.01). Спосіб одержання вуглецевих наноматеріалів (варіанти) / Л.З. Богуславський, Д.В. Вінниченко, Н.С. Назарова (Україна); заявник і патентовласник ІПТТ НАН України. – № а 2010 01186; заявл. 05.02.2010; Опубл. 10.08.2011 р., Бюл.№ 15. – 9 с.

УДК 676.035 : 537.528

Малюшевская А. П¹., к.т.н., Крутін М. Ю.²

¹Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України.

²Национальный университет кораблестроения, г. Николаев.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ

Исследования, направленные на расширение возможностей применения электроразрядного метода обработки волокнистых материалов различного назначения показали, что электроразрядный метод обеспечивает эффективное дробление и измельчение. Тонкое измельчение и разволокнение отходов картона, бумаги и бумажной макулатуры позволяет получить активированную пульпу, пригодную для затворения гипсобетонных растворов, используемых в производстве гипсобетонных перегородочных плит и других изделий. Волокнистые материалы, используемые в производстве строительных материалов, в бумагоделательной промышленности, состоят из элементарных волокон с поперечными размерами 1...50 мкм. В процессе производства таких малоразмерных волокон или изделий из них они могут подвергаться импульсной обработке с целью модификации, активации, окраски или очистки.

В качестве объекта исследований был выбран процесс приготовления водной дисперсии волокнистых материалов из бумажной макулатуры, затем водная дисперсия использовалась для затворения гипсовых вяжущих марки Г-4, Г-5. Сырьём служили отходы печатного и бумажного производства: газетная бумага (группа материалов 1), техническая писчая бумага (группа 2), ватман (группа 3). В качестве рабочей среды использовалась водопроводная вода с удельным сопротивлением 8...10 Ом·м. Применялось следующее оборудование – генератор импульсных токов ГИТ-50, электроразрядные камеры для обработки материалов объёмом 10, 40 и 60 дм³, мешалка электрическая; приборы – мост реохордный Р-38 с колбой Х-38, вискозиметр Суттарда, линейка длиной 300 мм с ценой деления 1 мм, прибор Вика, весы с погрешностью взвешивания не более 1 г, секундомер, мерный цилиндр, микроскоп МБИ-3. В качестве параметра оптимизации была выбрана устойчивость полученной в результате обработки коллоидной системы, степень устойчивости определялась по результатам седиментационного анализа. Дополнительно проводилось визуальное наблюдение полученных волокон с помощью микроскопа МБИ-3.

По результатам предварительных исследований было отмечено сильное влияние на процесс диспергирования энергии, запасаемой ёмкостным блоком накопителей энергии, с ростом её величины процесс воздействия проходил более эффективно. С учетом этого в последующих исследованиях уровень запасаемой энергии устанавливался максимальным. Варьировались три параметра: величина межэлектродного промежутка, концентрация твёрдой фазы в суспензии и время электроразрядной обработки (то есть суммарное число импульсов, вводимых в активируемый объём). При этом частота посылок импульсов поддерживалась постоянной. Изначально удалось зафиксировать величину межэлектродного промежутка, позволяющую осуществлять устойчивый свободный пробой суспензии – для первой группы материалов она оказалась равной 50 мм, для второй и третьей – 40 мм.

На рисунке 1 представлены образцы твёрдой фазы через 1 минуту обработки (а) и через 5 минут обработки (б). Получена суспензия с однородной структурой во всём объёме – рисунок 1.

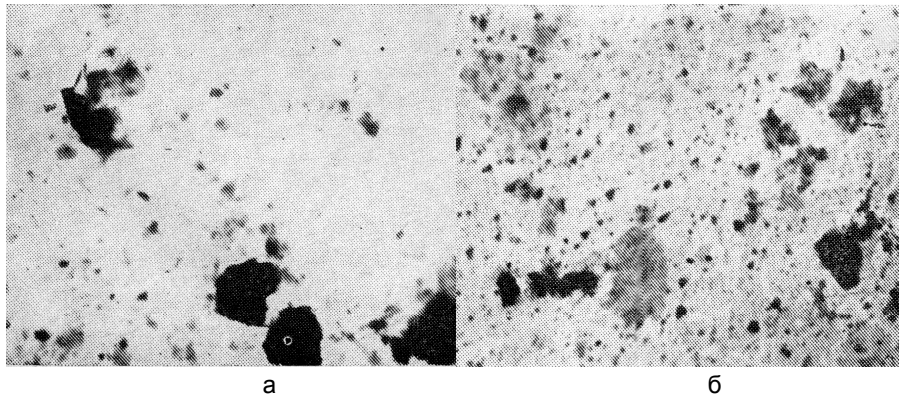


Рисунок 1 – Образцы твёрдой фазы суспензии после электроразрядной обработки

Было установлено сочетание параметров разрядной обработки, приводящее к возникновению в разрядной камере интенсивной кавитации и показано, что основной вклад в процесс электроразрядного диспергирования малоразмерных исходных частиц в воде вносит именно нелинейная объёмная кавитация. Для исследования процессов электроразрядного разволокнения и активации получаемой пульпы сравнивались энергетически эквивалентные режимы обработки исходного бумажного сырья сериями разрядов: одиночных в единичном разрядном промежутке (слабокавитационный режим) и в паре таких же разрядных промежутков, параллельно включаемых в разрядный контур с такими же параметрами (сильнокавитационный режим). При этом и в единичный разрядный промежуток, и в пару разрядных промежутков при каждом импульсе выделялась одинаковая суммарная энергия. Во втором случае электроразрядная обработка обеспечивается за счет взаимодействия синхронно расходящихся (при смыкании) стенок послеразрядных полостей, создающих динамическую зону пониженного давления между двумя параллельными разрядными промежутками. Анализ экспериментальных данных показал, что сильнокавитационный режим, достигаемый параллельным включением разрядных промежутков, является весьма эффективным – полученная суспензия имела однородную структуру даже после 25 суток отстоя, тогда как суспензия, полученная в слабокавитационном режиме, оставалась однородной только на протяжении 14 суток.

Было изучено влияние введения полученных электроразрядным способом суспензий волокнистых материалов в гипсовую смесь в качестве жидкости затворения. По сравнению с требованиями существующих стандартов гипсобетон перегородочной плиты, затворенный водой, имеет избыточную прочность при сжатии (6,5...8 МПа при нормальной прочности 5,0 МПа). Поэтому можно решить актуальную задачу по уменьшению материалоемкости процесса изготовления перегородочных плит, уменьшению их массы при сохранении необходимой прочности гипсобетона плит при сжатии путем его поризации. Обеспечение поризации гипсовой смеси достигалось использованием метода смешения гипсового вяжущего с облегчающей и поризующей добавкой в виде коллоидной целлюлозы.

Для изготовления литых смесей одним из основных критериев является растекаемость гипсового теста, которая характеризуется величиной распыла. Стандартную консистенцию определяли при затворении гипсового вяжущего водой и водно-целлюлозной суспензией различной концентрации. Определение стандартной консистенции осуществлялось на вискозиметре Суттарда по типовой методике. Эксперименты дали возможность определения влияния коллоидной целлюлозы, находящейся в суспензии, на изменение растекаемости гипсового теста. С увеличением содержания коллоидной целлюлозы в суспензии растекаемость гипсового теста резко снижается. Эксперименты по растекаемости гипсового теста выполнялись с гипсом марки Г-5 при водогипсовом соотношении 0,45 и суспензиями с концентрацией 1,5 и 3,0 %. На рисунке 2 показана зависимость изменения величины растекания гипсового теста от изменения соотношения суспензия-гипс при различном содержании коллоидной целлюлозы в суспензии и при затворении гипса водой.

Сравнивались результаты измерений сроков схватывания гипсового теста приготовленного на воде и на суспензиях различной концентрации. Так, например, для гипса марки Г-5 с водогипсовым соотношением 0,45 при затворении водой сроки схватывания составляли: начало – 8 мин., окончание – 13 мин., а при затворении суспензией, приготовленной электроразрядным способом и содержащей 3 % коллоидной целлюлозы, сроки схватывания изменились: начало – 9 мин., окончание – 16 мин. Это связано с тем, что для приготовления гипсового теста нормальной консистенции с использованием 3 % суспензии соотношение суспензия-гипс составляет 1:1. Коллоидная целлюлоза связывает воду затворения, препятствуя быстрой гидратации гипсового вяжущего. Такие результаты дают возможность более продолжительное время производить технологические операции с гипсовым тестом и получать изделия более высокого качества.

Список использованных источников

1. Малюшевский П.П. О механизме тонкого измельчения материалов при электрическом взрыве в ограниченном объеме // Электронная обработка материалов. – 1982. – №3. – С. 58-63

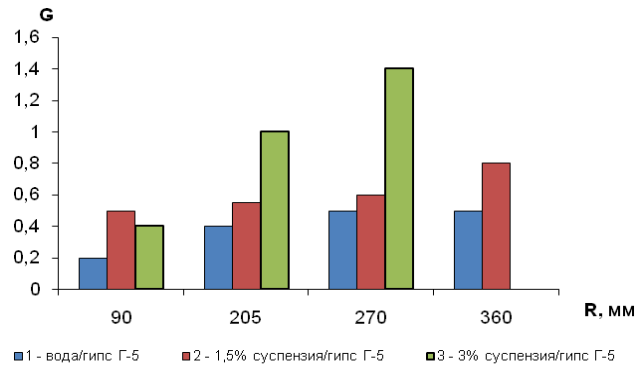


Рисунок 2 - Изменения растекаемости гипсового теста при затворении гипса водой и при затворении гипса водно-целлюлозной суспензией различной концентрации

2. Малюшевская А.П., Малюшевский П.П. Новый способ управления электроразрядной нелинейной, объёмной кавитацией // Электронная обработка материалов. – 2007. – №1. – С. 76-81.

УДК 543.226

Вінниченко Д. В., Назарова Н. С., к.т.н., Палига О. О.

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

ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ ТЕРМІЧНОГО АНАЛІЗУ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ ПРИ ЕЛЕКТРОРОЗРЯДНІЙ ОБРОБЦІ

В даний час в промислових технологіях лиття алюмінієвих сплавів приділяється велика увага розробці і дослідженню способів зовнішніх енергетичних впливів (таких як ультразвук, вібрація, високотемпературний перегрів [1], електричний струм, магнітне поле [2] та ін.) як на розплави, так і на процеси кристалізації виливків. Такі впливи сприяють отриманню дрібнозернистої структури і підвищення механічних і експлуатаційних властивостей виливків без введення спеціальних модифікуючих добавок. Наприклад, методи високовольтної електроімпульсної обробки (ВЕО) розплавів, що досліджуються та розробляються в Інституті імпульсних процесів і технологій НАН України [3, 4], є засобами одержання високоякісних ливарних сплавів.

Застосування термографічного аналізу дає можливість управління процесом кристалізації в злитках, а також контролю фазових і структурних перетворень, та відкриває нові перспективи для створення евтектичних композицій з необхідними структурою і властивостями [5]. Тому розвиток методу та відповідного обладнання з високою ступеню автоматизації є актуальною задачею.

Мета роботи: дослідити основи термічного аналізу сплавів і визначити вимоги до автоматизованої системи вимірювання термодинамічних характеристик розплаву при електророзрядній обробці рідкого металу та такого, що кристалізується.

У реальних металевих тілах кристалізація розплавів закінчується утворенням структури складно перепланих кристалів – дендритів. Їхня морфологія визначає властивості матеріалів. При температурі плавлення – $t_{пл}$, певної для кожного металу, твердий метал переходить у рідкий. Кристалічна решітка зберігається до температури плавлення. Після розплавлення решітка руйнується, але зберігається динамічний ближній порядок. Затвердіння відбувається при температурі $t_{затв}$, вона менше $t_{пл}$. Існує переохолодження й перегрівання. При температурі T_n величини вільних енергій рідкого й твердого стану рівні. Процес кристалізації протікає при температурі, меншій T_n . Для початку затвердіння необхідне переохолодження – різниця між рівноважною й реальною температурою кристалізації (різниця енергій). Переохолодження тим більше, чим більше швидкість зміни температури.

В 1878 році металург Д. К. Чернов установивши, що процес кристалізації складається із двох елементарних процесів: зародження центрів (швидкість – n у $\text{сек}^{-1} \cdot \text{см}^{-3}$) і росту кристалів (швидкість C в $\text{см} \cdot \text{сек}^{-1}$). Встановлено, що n і C залежать від переохолодження. Це визначає розмір зерен [6]:

$$N = a * (C / n), \quad (1)$$

де N – розмір зерна ; коефіцієнт “ a ” приблизно дорівнює 1.

Практично криві n і C розташовуються одна до одної таким чином, що, чим більше переохолодження, тим дрібніше виходять кристали, або чим більше швидкість охолодження, тим дрібніше кристали. Критичний розмір зародка первинного кристала знаходимо з вираження:

$$Rk = (4 * \sigma) / \Delta f u, \quad (2)$$

де σ – поверхневий натяг; Δf_u – різниця об'ємних вільних енергій рідкого й твердого металів.

На утворення зародка потрібна енергія, рівна одній третині його поверхневої енергії.

Зменшення об'ємної вільної енергії при переході атомів у кристалічне тіло недостатньо для утворення зародка. Утворенню зародка сприяє нерівномірний розподіл енергії між атомами – флуктуації.

При температурі близької до T_n , розмір критичного зародка повинен бути дуже великий й імовірність його утворення мала. Зі збільшенням ступеня переохолодження – Δf_u зростає, а поверхневий натяг на границі розділу фаз змінюється не значно. Чим більше ΔT , тим менше R_k , теж саме для σ . При невеликому ступені переохолодження (малій швидкості охолодження) число зародків невелике. У цих умовах буде отримане крупне зерно. Зі збільшенням ступеня переохолодження швидкість утворення зародків зростає й розмір зерна в затверділому металі зменшується.

Ступінь переохолодження залежить від природи металу. Вона збільшується з підвищенням чистоти металу й з ростом швидкості охолодження. Звичайний ступінь переохолодження металів при кристалізації у виробничих умовах коливається від 10 до 30 °C; при більших швидкостях охолодження вона може досягати сотень градусів [6].

Ступінь перегріву при плавленні металів, як правило, не перевищує декількох градусів. Розмір зерна впливає на властивості, особливо на в'язкість, що значно вище в металів із дрібним зерном.

За результатами досліджень [5] порівняльний аналіз термограм охолодження зразків показує, що магнітоімпульсна обробка (МІО) в процесі кристалізації розплаву істотно змінює як характер кривої охолодження, так і інтервали кристалізації. При цьому процес кристалізації α -Al твердого розчину, в порівнянні з кристалізацією розплаву після електрогідроімпульсної обробки (ЕГІО), набуває більш рівноважний характер. Температура початку кристалізації евтектичних складової сплаву в цьому випадку збільшується на 25 °C, а процес кристалізації носить явно виражений нерівноважний двустадійний характер. Більш того, інтервал кристалізації евтектичних складової і його тривалість також збільшуються. Зміна частоти проходження імпульсів істотно не впливає на характеристичні інтервали кристалізації і характер кривої охолодження сплаву. Комплексна ЕГІО і МІО розплаву тільки підсилює спостерігаються ефекти.

Таким чином, термограма кристалізації є чутливою до структури сплаву, зміненої в результаті фізичного впливу, і термографічний аналіз можна використовувати для моніторингу процесу кристалізації. Виходячи з вищесказаного, розмір зерна може бути визначений опосередковано з термодинамічної характеристики металу.

По більшості, точність виміру температури, яка змінюється повільно, з допомогою стандартних методів є достатньою, коли мова йде про одиниці Кельвіна. Але для процесів швидкого охолодження або нагрівання (десять Кельвіна у секунду для мартенситних перетворень), різних за фізичною природою критичних точок на кривій охолодження/нагрівання (точки ліквідуса та солідуса), потрібно мати вимірювальний тракт, що його характеризує база виміру дуже високого рівня. Для першого прикладу – 1...2 К/с, для другого – 0,1...0,5 К/с. Такі виміри не є стандартними. Для зазначених умов необхідно дані з температурного датчика подати на порт ПК, що в подальшому дає змогу, використовуючи необхідне програмне забезпечення, отримати практично в реальному часі необхідний набір технологічних та термодинамічних характеристик.

Для визначення технологічних вимог до автоматизованої системи вимірювання термодинамічних характеристик розплаву необхідно проаналізувати параметри зразків для досліджень.

Ступінь переохолодження при кристалізації металу в промислових умовах становить десятки градусів, однак, в експериментальних установках, де маса зразка порівняно мала, ступінь переохолодження не перевищує декількох градусів.

На основі дослідних даних [3, 4, 5, 7] отримана емпірична модель процесів охолодження металів та сплавів, що кристалізуються, навколо точки ліквідусу.

$$\Delta T = f(m, \Delta T / \Delta t),$$

де ΔT – переохолодження, Δt – час переохолодження. З цієї залежності отримано границі зміни переохолодження $\Delta T = 0,25 - 1$ °C та границі зміни $\Delta t = 1 - 3$ с.

Для маси 1 кг – $\Delta T = 3$ °C. Інтервал часу переохолодження в околі точки ліквідусу на кривій темпу охолодження залежно від швидкості охолодження становить 3 с. Для експериментальної побудови цієї ділянки характеристики розроблювальний термографічний комплекс повинен забезпечувати точність виміру температури до 0,25 °C, а періодичність виміру температури не повинна перевищувати 1 с. Для експериментального одержання кривій темпу охолодження виміри повинні проводитися протягом повного інтервалу часу процесу охолодження (кристалізації), що становить кілька десятків хвилин.

Інтервал вимірювальних температур становить від 0 до 800 °C. Кількість каналів виміру – 1.

Необхідно також розробити програмне забезпечення для передачі даних на керуючий комп'ютер.

Забезпечення перерахованих вимог дозволить створити термографічний комплекс для моніторингу та реєстрації температури рідкого металу, що кристалізується.

Висновки. Засоби виміру температури рідкого металу з використанням інформаційних технологій і промислових або персональних комп'ютерів (ПК) вже використовуються багатьма виробниками литого металу та дослідницькими центрами. Але на сучасному стані, за даними Internet-ресурсу, оновлення перетворювальної

та комп'ютерної техніки, освоєння нового програмного продукту мають найбільш високі темпи у техніці – до одного року. Тому побудова термографічного комплексу на новому рівні для дослідження термодинамічного стану розплавів є актуальною задачею. Дослідження основ термічного аналізу сплавів дозволило визначити вимоги до автоматизованої системи вимірювання термодинамічних характеристик розплаву при електророзрядній обробці рідкого металу та такого, що кристалізується

Список використаних джерел

1. Mazlee M. N. Microstructural study and differential scanning calorimetry analysis at elevated temperatures of superheated as-cast a357 alloy / M. N. Mazlee, J. B. Shamsul, H. Kamarudin, S. S. Rizam // Int. J. Mech. & Mat. Eng. – 2009. – Vol 4, No. 2. – P. 181–185.
2. Tie Liu. Effects of high magnetic fields on solidification microstructure of Al–Si alloys / Tie Liu., Qiang Wang., Hong-Wei Zhang et. al. // J. Mater. Sci. – 2011. – Vol. 46. – P. 1628–1634.
3. Цуркин В.Н., Синчук А.В., Волков Г.В. Влияние электрогидроимпульсной обработки на модифицированные структуры силуминов // ИПМСС: Матер. X Междун. науч.конф.(19-22 августа 2013г.).- Николаев: КП"Микол. обл. друкарня",2013.- С.146-149.
4. Совместное влияние фосфора и электрогидроимпульсной обработки расплава на структуру и свойства заэвтектического силумина A390 / В.Н. Цуркин, А.В. Синчук, Н.А. Федченко, Kyung-Hyun Kim. // Процессы литья.-2013. – №1. – С.38-44.
5. Хрипливый, А.А. Закономерности неравновесной кристаллизации при электрогидроимпульсной и магнитоимпульсной обработках промышленного силумина АК7 /А. А. Хрипливый, И. Н. Максимчук, В. Г. Ткаченко, В. В. Фризель, Р. Н. Рыжов, В. Д. Кузнецов, П. Ю. Сидоренко// Вісник УМТ. – No 1 (5) 2012.
6. Материаловедение: лекции / Мальцев И. М. – Ниж. Новгород: НГТУ, 1995 – 103с.
7. Overfelt, R. A. Thermophysical properties of A201, A319, and A356 aluminium casting alloys /R. A. Overfelt, S. I. Bakhtiyarov, R. E. Taylor // High Temperatures – High Pressures, 2002, volume 34, pages 401 – 409.

УДК 669.716.9:621.795.4

Адамчук Ю. О.

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины г. Николаев

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО НАНЕСЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ

Нанокarbonные материалы и покрытия применяются во многих сферах: авиакосмическая [1–3], машиностроительная [4] промышленность, приборостроение [5].

Схема устройства для синтеза нанокarbonа и нанесения углеродного наноструктурированного покрытия в одном технологическом цикле, а также внешний вид реактора представлены на рис. 1. В состав экспериментальной установки входит реакционная камера, высоковольтное оборудование, емкость с газом. В верхней части реакционной камеры 1 крепится проходной высоковольтный изолятор 3, внутри которого помещается электрод 2. Камера также снабжена каналом 6 для отвода неиспользованного рабочего и сопутствующих газов. Через проходной изолятор внутрь камеры подают рабочий газ, пропан-бутан, под обычным атмосферным давлением. Синтез наночастиц нанокarbonа осуществляют в результате дефлукции газовой плазмы углеводорода плазмой электрического разряда, образующейся между электродом 2 и металлической поверхностью подложки 5, которую используют в качестве противоелектрода. При этом процессы синтеза наночастиц и их осаждения на подложке осуществляются одновременно. Для формирования дуги в межэлектродном промежутке используется высокочастотный мостовой инвертор подключенный к высоковольтному, высокочастотному трансформатору, способному, как сформировать пробой межэлектродного промежутка (напряжение до 30кВ), так и поддерживать разряд после пробоя (напряженность 100 В/мм). Ток, а следовательно поступающая в разряд мощность, регулируется двумя способами, грубо (токоограничивающим дросселем) и плавно (изменением частоты инвертора, в диапазоне от 17 до 40 кГц). Верхний подвижный электрод перемещают относительно подложки по заданной траектории. Можно также изменять расстояние между электродами.

Продолжительность единичного подхода непрерывной электроразрядной обработки составляла 3 минуты. Это время, в течение которого, согласно результатам предварительных экспериментов, идет формирование адгезионно прочного покрытия и налипание частиц, дезактивирующее поверхность, незначительно. По истечении 3 минут образец очищался от слоя налипшего нанокarbonа. Для увеличения толщины покрытия процесс повторяется. Электрические параметры контура на протяжении эксперимента не изменялись.

Выбор материалов конструкционной поверхности для нанесения покрытий осуществлялся с учетом функционального назначения покрытия, адгезионных свойств, способности материала основы взаимодей-

створять з вуглеродом (растворять, формувати карбиди, бути хімічно інертним), каталітичних властивостей матеріалу в відношенні синтезу різних модифікацій нановуглерода. Для нанесення поглинаючих покриттів з метою використання в авіа- і космічній техніці підходять алюміній, титан і їх сплави, а сталі, нікель і мідь – для покриттів, що працюють в інших сферах. Відмінна адгезія до матеріалу основи спостерігається при напыленні вуглеродних покриттів на карбидоутворюючі метали (залізо, титан), тому більш високий потенціал використання як підкладки мають сплави на основі заліза, в тому числі, різні сталі, що пов'язано з великим вмістом в них заліза і вуглерода. Ймовірно отримання нановуглеродних покриттів на матеріалі також висока, якщо він є каталізатором утворення необхідних алотропних модифікацій нановуглерода, наприклад, як залізо або нікель. З урахуванням викладеного, для нанесення нановуглеродних покриттів використовували підкладки діаметром 10–20 мм і висотою до 10 мм з нержавіючої корозійностійкої жаропрочної сталі 08Х18Н10, алюмінія А5, міді М1 і жаропрочного сплаву на основі нікеля ХН75МБТЮ. Підкладки перед розміщенням в реакційну камеру попередньо шліфували, полірували і очищали в спиртовій ванні.

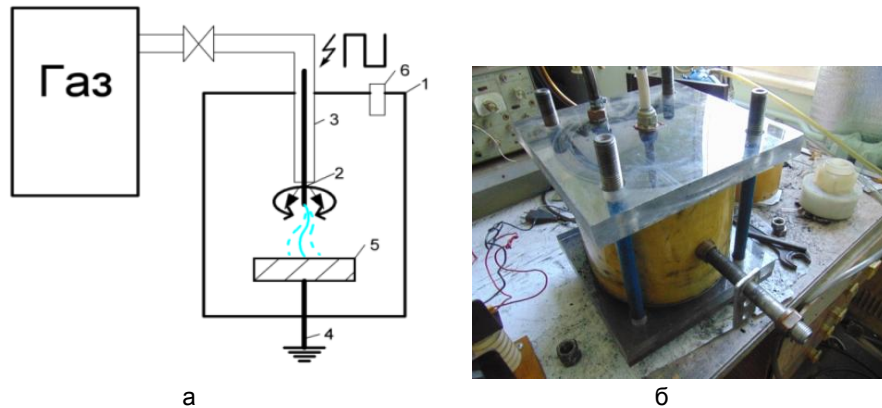


Рисунок 1. Схема пристрою (а) і зовнішній вигляд реакційної камери (б).

Висновки. Представлена методика дозволяє отримувати вуглеродні наноструктуровані покриття на різних конструкційних матеріалах з різною товщиною покриття, в залежності від технологічної необхідності.

Список используемых источников

- Новиков, Л. Перспективы применения наноматериалов в космической технике: учеб. пособие / Л. Новиков, Е. Воронина. // М.: Университетская книга, 2008. – 188 с.
- Гульбин, В., Колпаков, Н., Поливин, В. Радио- и радиационно-защитные композиционные материалы с наноструктурными наполнителями // Известия Волгоградского ГТУ. – 2014. – №23 (150). – С.43–51.
- Вовченко, Л., Мацуй, Л., Олейник, В., Лаунец, В., Загородний, В., Норманд, Ф. Резонансный характер взаимодействия многослойных углеродных нанотрубок с излучением миллиметрового диапазона волн // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. – 2011. – т. 9, № 4. – С. 759–769.
- Кочанов, Д. Наноматериалы и нанотехнологии для машиностроения: состояние и перспективы применения // РИТМ. – № 8 (56). 2010. – С. 16–21.
- Ешманова Г.Б., Шамельханова Н.А., Ускенбаева А.М. Экранирующие покрытия для электронных систем и устройств и методы их поверхностного нанесения // Материалы международной научно-практической конференции "Нанотехнологии в материаловедении – новый вектор индустриализации Казахстана", посвященной 85-летию академика Омарова А.К., 2014. – С. 137–143.

УДК 621.3.015.3:537.528

Петриченко С. В.¹, к.т.н., Челпанов Д. И.¹, Цолин П. Л.¹, Савенков О. И.²

¹Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, г. Николаев

²Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗРЯДНОЙ ЦЕПИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГРАНУЛ В ЖИДКОСТИ

Объемное электроискровое диспергирование (ОЭИД) гранул из проводящего материала в диэлектрической жидкости является производительным и энергоэффективным способом получения тонкодисперсных порошков с уникальными функциональными свойствами, морфологией и распределением по дисперсности

[1-4]. В його основі лежить ефект просторової концентрації електричної потужності при разряді конденсаторної батареї на міжелектродний проміжок, заповнений, як правило, металічeskими гранулами, поглиненими в воду, жидкі вуглеводороди і інші діелектричні жидкості. На множині контактів між гранулами в теченні єдиного імпульсу виникають локальні іскрові разряди (рис. 1 а) – зони фазового превращення матеріалу гранул і деструкції жидкості, з наступним утворенням субмікронного або нанорозмерного порошку. Ріст потребностей промисловості в якісних порошкових матеріалах ставить задачу зниження удільних енергозатрат на їх виробництво в разряд актуальних. Ціллю даної роботи є підвищення енергоефективності обладнання ОЗІД за рахунок оптимізації розподілу енергії разрядного імпульсу в елементах разрядної ланки відповідних пристроїв.

Розглянемо умови оптимальної енергоефективності в разрядній ланці, критерієм якої виберемо екстремум на кривій відношення виділеної в міжелектродному проміжку енергії до запасеної. Як випливає з рис. 1 б, таким умовою для різних ємкостей конденсаторів ($C_1=50$ мкФ, $C_2=100$ мкФ) є приблизне рівняння хвильового опору разрядної ланки і інтегрального еквівалентного опору міжелектродного проміжку в процесі електричного разряду. Умова виконується і для разряду в елементарній ланці металічeskих (сталіх і алюмінієвих) гранул (далі модель) і для разряду в двовимірному шарі з великим (10×10) кількістю гранул при різних ємкостях накопичувача. Але R_3 – величина, яку розраховують на основі експериментальних даних (1), що не дозволяє прямо і попередньо визначити умови узгодження іскрової навантаження.

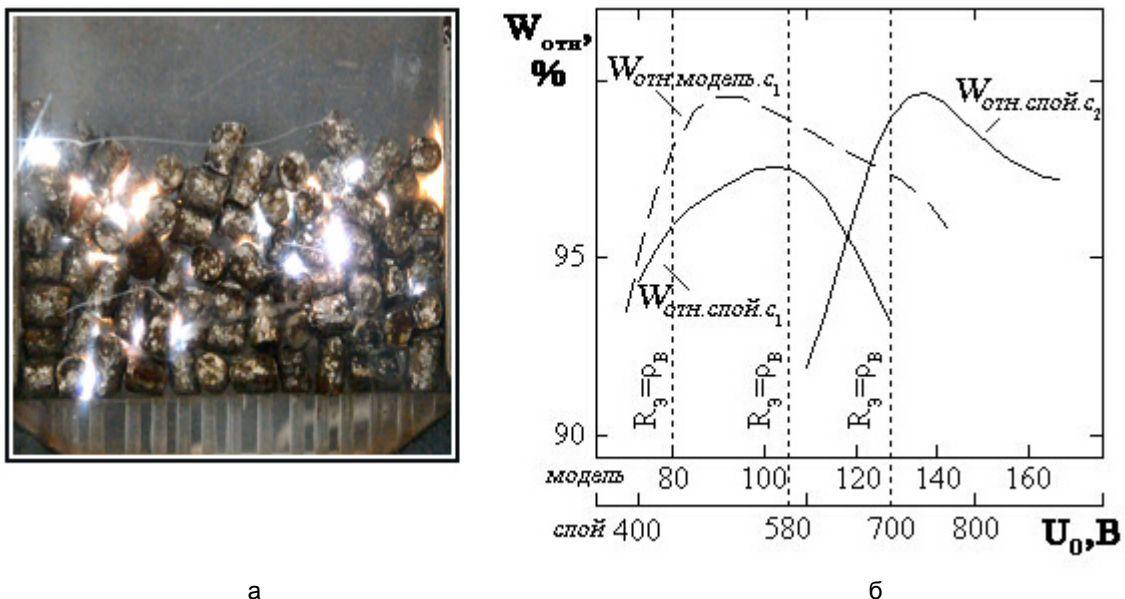


Рис. 1 – Фотографія розряду і залежність відношення виділеної в міжелектродному проміжку енергії до запасеної від зарядних напруг

Вместе с тем, ранее было показано [5, 6], что временную зависимость разрядного тока с достаточной степенью точности (для решения задач не связанных с этапом формирования разряда, а связанных с активной токовой стадией разряда) можно представить функцией $i(t)$ (2), где в подлогарифмическом выражении подстановка значений L и C осуществляется в [мкГн] и [мкФ], соответственно (эмпирическая формула), а коэффициенты a_1 и a_2 определяются на основании методики, изложенной в [6]. Таким образом, определение условий согласования может сводиться к численному либо аналитическому решению уравнения разрядной цепи (3) относительно сопротивления разрядного промежутка, где ток выражен указанной зависимостью с последующим интегрированием $R(t)$ для определения R_3 . Однако в этом случае неопределенными будут начальные условия.

$$R_3 = \frac{\int_0^{\tau} i(t) \cdot U(t) dt}{\int_0^{\tau} i^2(t) dt}; \quad (1)$$

$$i(t) = \ln \left[a_1 \cdot \frac{C^2}{L^2} \right] \cdot (U_0 - a_2) \cdot \sin(\omega \cdot t); \quad (2)$$

$$\frac{1}{C} \cdot \int i(t) dt + L \cdot \frac{di(t)}{dt} + R(t) \cdot i(t) = U_0. \quad (3)$$

Для вычисления R_3 на основании экспериментальных данных используем зависимость (1), в числителе которой находится выделившаяся в ходе разряда в межелектродном промежутке энергия. Оптимизация ре-

жима обробки по розподіленню енергії в елементах розрядної цепи предполагає ситуацію, коли частка виділеної в міжелектродному проміжку енергії буде максимально можливою. В ідеальному випадку умовно можемо прийняти це значення рівним запасеній в конденсаторній батареї енергії (достижимий на практиці рівень – порядку 90 %). Тоді виконавши підстановку запасеній в конденсаторі енергії в вираження (1), а також значення розрядного струму з вираження (2) визначимо залежність еквівалентного інтегрального опору від основних параметрів розрядної цепи (4).

$$R_3(U_0, C, L) \approx \frac{W_0}{\int_0^{\tau} i^2(t) \cdot dt} = \frac{C \cdot U_0^2}{2 \cdot I_{ma}^2} \cdot \frac{1}{\int_0^{\tau} \sin^2(\omega \cdot t) \cdot dt} = \frac{C \cdot U_0^2}{2 \cdot \left(\ln \left(a_1 \cdot \frac{C^{\frac{3}{2}}}{L^{\frac{1}{2}}} \right) \cdot (U_0 - a_2) \right)^2} \cdot \frac{1}{\left(-\frac{1}{4 \cdot \omega} \cdot \sin(2 \cdot \omega \cdot t) + \frac{1}{2} \cdot t \right) \Big|_0^{\tau}}, \quad (4)$$

де приймаємо $\omega = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \frac{R_3^2}{4 \cdot L^2}} \approx 1/\sqrt{LC}$ і, відповідно $\tau \approx \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$, т.к. значення кулової частоти в розглянутому діапазоні входять в відповідне вираження величин для згасаючих і вільних коливань відрізняються практично на порядок.

Виконавши підстановку меж інтегрування і значення a_2 в (4), а потім, прирівнявши запропоновану залежність до значенню хвильового опору розрядної цепи, отримаємо однозначно визначену взаємозв'язок U_0, C, L (5), яка і буде являтися умовою оптимізації по екстремуму виділеної в іскровій навантаженні енергії. Її перевірка призводить до збігання для вибраних C і L розрахункового значення U_0 і практичного (експериментального), які з високою ступенню точності відповідають екстремуму W/W_0 .

$$\frac{U_0^2}{(\ln(2 \cdot C) \cdot (U_0 - a_2))^2 \cdot \pi} = \rho_B^2 = \left(\sqrt{\frac{L}{C}} \right)^2. \quad (5)$$

Важливим моментом, на який повторно необхідно звернути увагу, є те, що підстановка значень індуктивності розрядної цепи L і ємкості конденсатора C в підлогарифмічних вираженнях формул (2), (4) і (5) здійснюється в [мкГн] і [мкФ], відповідно, по причині емпіричного походження вираження (2).

Таким чином, методика оптимізації режиму обробки для діючої установки зводиться до наступному (один з варіантів). Допустимо, існує реактор диспергування з відомими геометричними параметрами і матеріал – металеві гранули з відомим характерним діаметром. Індуктивність, як правило, є фіксованим параметром, встановленим на мінімально технічно реалізованому рівні (~ 2 мкГн). В генераторі імпульсів реалізована можливість варіювання зарядного напруги і ємкості конденсаторної батареї в практично застосовуваних межах. Послідовність вибору оптимальних параметрів для обробки:

- по методиці [6] визначається значення a_2 . Для металевих матеріалів з близькими до сталі і алюмінію молярними теплоємностями, значення a_2 не повинно суттєво відрізнятися від наведеного в [6];
- в залежності від характерного діаметра гранул, виходячи з умови відсутності гідродинамічного взаємодія активізованих контактів [5]

$$r_0 + 0,5\pi \cdot v_{BO3M} (LC)^{1/2} / d_0 \geq 1; \quad (6)$$

де r_0 – початковий радіус каналу; v_{BO3M} – швидкість поширення гідродинамічного збурення в рідині; d_0 – діаметр гранул,

із діапазону практично застосовуваних ємкостей задається ємкість конденсаторної батареї C ;

– на основі (5) визначається необхідне значення зарядного напруги і перевіряється на відповідність достаточному умову по забезпеченню стабільної іскри на парі контактів [5] для даної ємкості з використанням запропонованого в [6] підходу до масштабування (модель – шар).

Висновки. В роботі запропонована методика визначення початкових умов реалізації розряду в гранульованому шарі для оптимізації розподілу енергії в елементах розрядної цепи установок ОЗІД. Проведена експериментальна перевірка розрахункових виражень на відповідність умовам екстремуму по відносному енерговиділенню в іскровій навантаженні, показаний оптимізований варіант застосування запропонованої методики.

Список использованных источников

1. Асанов У. А. Электроэрозионная технология соединений и порошков металлов [Текст] / У. А. Асанов, А.Д. Цой, А.А. Щерба [и др.]. – Фрунзе: «Илим», 1990. – 256 с.
2. Левченко В. Ф. Электроимпульсный метод комплексной переработки материалов [Текст] / В.Ф. Левченко // «Проблемы машиностроения». – 1992. – № 38. – С. 78–86.
3. Berkowitz A.E. Amorphous soft magnetic particles produced by spark erosion [Text] / A. E. Berkowitz, M. F. Hansen, F. T. Parker [et.al] // «J. Magn. Magn. Mater.». – 2003. – № 1. – P. 254-255.

4. Carrey J. Spark-eroded particles: Influence of processing parameters [Text] / J. Carrey, H. B. Radousky, A. E. Berkowitz // «Journal of Applied Physics». – 2004. – V. 95, № 3. – P. 823-829.
5. Петриченко С. В. Підвищення продуктивності і стабілізація режимів об'ємного електроіскрового диспергування струмопровідних гранул у рідині [Текст] / С. В. Петриченко // Вестник НТУ «ХПИ». Сер. Техніка і електрофізика високих напруг: сб. научн. трудов. – 2010. – № 18. – С. 139-148
6. Листовский Д.Е Оптимизация режимов электроискрового диспергирования металлических гранул в жидкости по распределению энергии, выделившейся в элементах разрядной цепи [Текст] / С. В. Петриченко // Вісник НТУ "ХПИ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка і електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2016. – № 36. – С. 58-65.

УДК 621.314.26

Вінниченко Д. В., Золіна А. В., Палига О. О., Назарова Н. С., к.т.н.

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

ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ З КОМБІНОВАНИМ РЕЖИМОМ РОБОТИ ДЛЯ СИНТЕЗУ НАНОВУГЛЕЦЮ З ГАЗОПОДІБНИХ ВУГЛЕВОДНІВ

Отримання нановуглецевих матеріалів у світі являється дуже важливою проблемою. Вуглецеві наноматеріали мають ряд унікальних властивостей, зумовлених впорядкованою структурою їх нанофрагментів, що обумовлює актуальність досліджень в напрямку пошуку способів синтезу нановуглецю з заданою структурою або з заданою чистотою отриманого продукту і т.п. При цьому виникає необхідність злиття різних наукових напрямів і активного залучення зусиль провідних вчених і технологів. Створення спеціалізованого обладнання для синтезу нановуглецю із заданими властивостями є актуальною задачею, вирішення якої сприятиме подальшому розвитку нанотехнологій.

Існують різноманітні способи отримання нановуглецевих структур (електро-іскрові в рідких та газоподібних середовищах, електродугове розпилення графіту тощо), але більшість відомих методів [1] мають недоліки за якістю і продуктивністю.

На даний момент інтенсивно розвиваються способи отримання вуглецевих наноматеріалів за допомогою електророзрядної обробки вуглецевмісних газів. У ІПТТ НАН України розроблено високочастотний метод синтезу нановуглецю при безпосередньому впливі на газоподібні вуглеводні високовольтними імпульсними розрядами з частотою проходження в кілогерцовому діапазоні [2]. При цьому методи забезпечення високих градієнтів температур і тисків, як необхідних умов синтезу, здійснюється за рахунок великої швидкості введення енергії в плазмовий канал.

Основним робочим елементом при високочастотному методі синтезу нановуглецю є плазмовий канал, який забезпечує енергію, необхідну для деструкції газів і синтезу нановуглецю в міжелектродному проміжку. Джерело живлення повинне забезпечити формування плазмового каналу при наявності розрядного проміжку між електродами, який залежно від умов, може досягати довжини до 100 мм.

Мінімум питомих енерговитрат для синтезу одиниці кількості нановуглецю відповідає розрядній напрузі в діапазоні від 2 до 10 кВ при частотах кілогерцового діапазону [3]. Для пробію проміжку у 100 міліметрів цієї напруги замало. У системах аргонного зварювання, в яких виникає подібна проблема, використовують два окремих генератори, перший для забезпечення пробію проміжку, і другий для підтримки розряду. Використання двох окремих генераторів і необхідність у системі синхронізації призводить до ускладнення електротехнічної системи і збільшення масо-габаритних показників, мінімізація яких в сучасних умовах є однією з основних вимог до розробника. Синхронізація потужних генераторів на частоті більшій одного кілогерцу є надзвичайно складним завданням.

Метою роботи є розробка джерела живлення з комбінованим режимом роботи, яке повинне підтримувати необхідні для синтезу нановуглецю з газоподібних вуглеводнів режими роботи, а саме пробій міжелектродного проміжку та підтримку розряду із стабілізованим струмом.

Аналіз особливостей побудови високовольтних високочастотних джерел живлення

На початку проектування імпульсного джерела живлення головне вибрати базову топологію, тобто розміщення компонентів перетворювача в схемі проекту імпульсного джерела живлення, що має великий вплив на те, в якому середовищі зможе успішно функціонувати джерело і яку потужність воно зможе забезпечити для навантаження. Порівняння переваг різних топологій надано в таблиці 1.1 [4]

Таблиця 1 – Порівняння переваг різних топологій

Топологія	Діапазон потужностей, Вт	Діапазон напруг $V_{in(DC)}$, В	Ізоляція Вхід\вихід	Типовий ККД, %
Знижуючі	0-1000	5-40	Ні	78
Підвищуючі	0-150	5-40	Ні	80
Інвертуючі	0-150	5-40	Ні	80

Продовження таблиці 1

Прямоходові	0-150	5-500	Так	78
Зворотньоходові	0-150	5-500	Так	80
Пушпульні	100-1000	5-1000	Так	75
Напівмостові	100-500	5-1000	Так	75
Мостові	400-2000+	5-1000	Так	73

При виборі схеми побудови імпульсного джерела живлення розробник в першу чергу керується очікуваними габаритними розмірами і простотою схемотехнічних рішень. Якщо споживана потужність пристрою перевищує 150 ... 200 Вт, у випадках, коли перетворювачі і стабілізатори використовувати не можна, потрібна розробка двотактних схем перетворювачів, що мають гальванічну розв'язку первинних та вторинних кіл. Найбільш поширеними є три схеми: двофазна пуш-пульна (push-pull) (рис. 1,а), напівмостова (half-bridge) (рис. 1,б) і мостова (full-bridge) (рис. 1,в) [4].

Основними недоліками двофазної пуш-пульної схеми є:

- подвоєна напруга живлення на транзисторах перетворювача вимагає використання ключів, якнайменше, з потроєним значенням допустимої напруги між силовими електродами;
- неможливість регулювання амплітуди імпульсів вихідної напруги внаслідок нелінійного характеру навантаження;

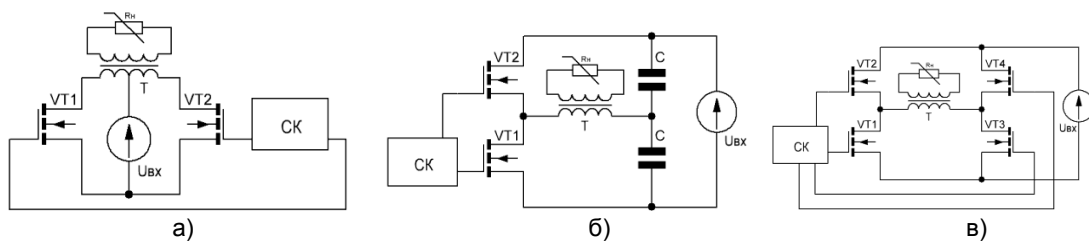


Рисунок 1 – а) – транзисторне двотактне джерело живлення з виводом від середньої точки трансформатора; б) – транзисторне двотактне джерело живлення на основі напівмосту [5]; в) – транзисторне двотактне джерело живлення на основі повного мосту [5].

- амплітуда струму навантаження залежить від опору навантаження та індуктивності розсіювання трансформатору Т та не може бути параметрично стабілізована внаслідок нелінійного характеру навантаження.

Основними недоліками напівмостової схеми (в порівнянні з першою схемою) є:

- подвоєний струм силових транзисторів та використання силових електролітичних конденсаторів з ємністю, що визначається послідовним еквівалентним опором, достатнім для нормованого теплового режиму та 2-5 % пульсації середньої точки подільника.
- в два рази менша напруга на виході трансформатору при однаковому коефіцієнті трансформації.

Основними недоліками мостової схеми є:

- використання чотирьох силових транзисторів та драйверів до них;
- амплітуда струму навантаження залежить від опору навантаження та індуктивності розсіювання трансформатору Т, і не може бути параметрично стабілізована, внаслідок нелінійного характеру навантаження;
- неможливість регулювання амплітуди імпульсів вихідної напруги, внаслідок нелінійного характеру навантаження.

Для підвищення продуктивності отримання нанопорошку при синтезі необхідно підвищувати потужність джерела живлення. Тому у даному джерелі живлення запропоновано для використання мостову (full-bridge) схему, її перевага полягає в тому, що максимальна напруга між силовими електродами навантаження досягає одиночного рівня напруги живлення, що, при тій же потужності (порівняно з напівмостовою схемою), знизить струми на силових електродах транзисторів, та, в порівнянні з пуш-пульною схемою, знизить вдвічі максимальну напругу на силових ключах.

Робота установки для синтезу нановуглецю потребує близько 1 кВт споживаної з мережі корисної потужності [3], не всі джерела живлення можуть задовольнити такі вимоги, тому обираємо мостову топологію перетворювача енергії.

Дослідження залежності пробивної здатності джерела живлення від довжини розрядного проміжку в середовищі газоподібних вуглеводнів. Для розрахунку параметрів джерела живлення потрібно дізнатися яку вихідну напругу воно має забезпечувати [6,7]. Аналізи експериментальних даних показали (табл.2), що у газовому середовищі пробивна здатність джерела живлення повинна складати не менше 2 кВ/мм.

Таблиця 2 – Дані дослідження пробивної здатності джерела живлення

Міжелектродний проміжок, мм	Напруга пробою, кВ			Середня пробивна напруга, кВ	Пробивна здатність, кВ/мм
	1	2	3		
2	4,44	4,62	4,26	4,44	2,22
3	6,24	5,76	5,64	5,88	1,96
4	8,7	8,4	8,88	8,66	2,2
5	10,0425	8,385	9,165	9,1975	1,83
6	13,455	11,4075	12,1875	12,35	2,06

Експериментальне дослідження залежності напруги на каналі розряду від довжини розрядного проміжку. Результати проведених експериментів показують (табл.3), що робоча напруга на каналі розряду в газовому середовищі значно менша ніж напруга, яка потрібна для пробою міжелектродного проміжку.

Таблиця 3 – Дослідження залежності напруги на каналі розряду від довжини розрядного проміжку

Міжелектродний проміжок, мм	Робоча напруга, В			Питома робоча напруга, В/мм
	1	2	3	
2	239,85	253,9875	243,75	122,9313
3	313,95	335,4	325,1625	108,2792
4	372,9375	447,0375	398,775	101,5625
5	477,2625	497,25	457,275	95,4525
6	546	580,125	560,625	93,70833

Високовольтний імпульсний трансформатор як елемент розрядного кола у кілогерцовому діапазоні розрядної частоти. На рис. 2 наведено модель двообмоточного трансформатора з позначенням параметрів електричного та магнітного кіл.

Напишемо рівняння електричних кіл трансформатора:

$$U_1 = r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}, \quad 0 = U_2 + r_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}. \quad (1, 2)$$

Введемо поняття коефіцієнта трансформації, яким будемо постійно користуватися в розрахунках:

$$n = w_1 / w_2 \quad (3)$$

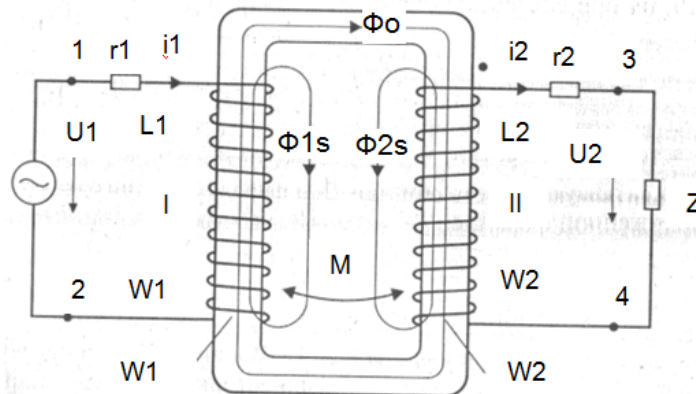


Рисунок 2 – Двообмоточний трансформатор

Зробимо і деякі інші позначення, приведені в таблиці 1, і перетворимо формули (1) і (2):

$$U_1 = r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - L_0 \frac{di_0}{dt}, \quad 0 = U_2 + r_2' i_2' + L_2' \frac{di_2'}{dt} - L_0 \frac{di_0}{dt}. \quad (4, 5)$$

На рисунку 3,а показана еквівалентна схема заміщення трансформатора з параметрами вторинної обмотки, приведеними до параметрів первинної [5].

Значення C_{01} і L_{s2} малі, у порівнянні з іншими паразитними параметрами схеми, і ними можна знехтувати, у зв'язку з їх незначністю. Тому високовольтний високочастотний трансформатор можна представити спрощеною заступною схемою, яку показано на рисунку 3,б.

У складі заступної схеми трансформатора є LC-коло, яке складається з індуктивності розсіювання L_s та ємності вторинної обмотки C_{02} , приведена складова C_{02}' якої може досягти десятків-сотень нанофарад. Це утворення Г-подібного резонансного контуру у високовольтному високочастотному трансформаторі, на його паразитних елементах, можна використати для пробою проміжку.

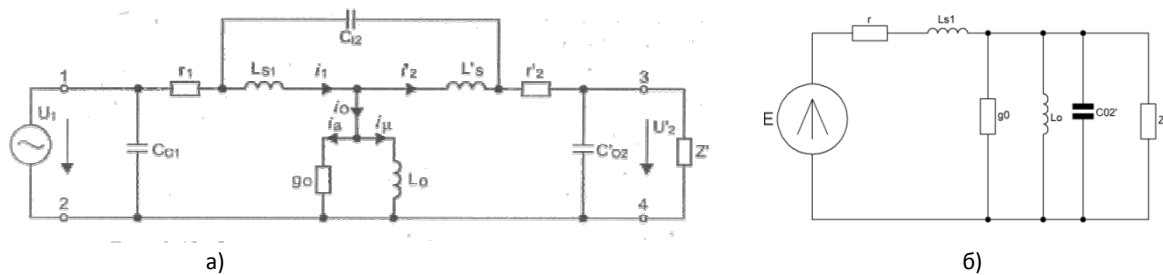


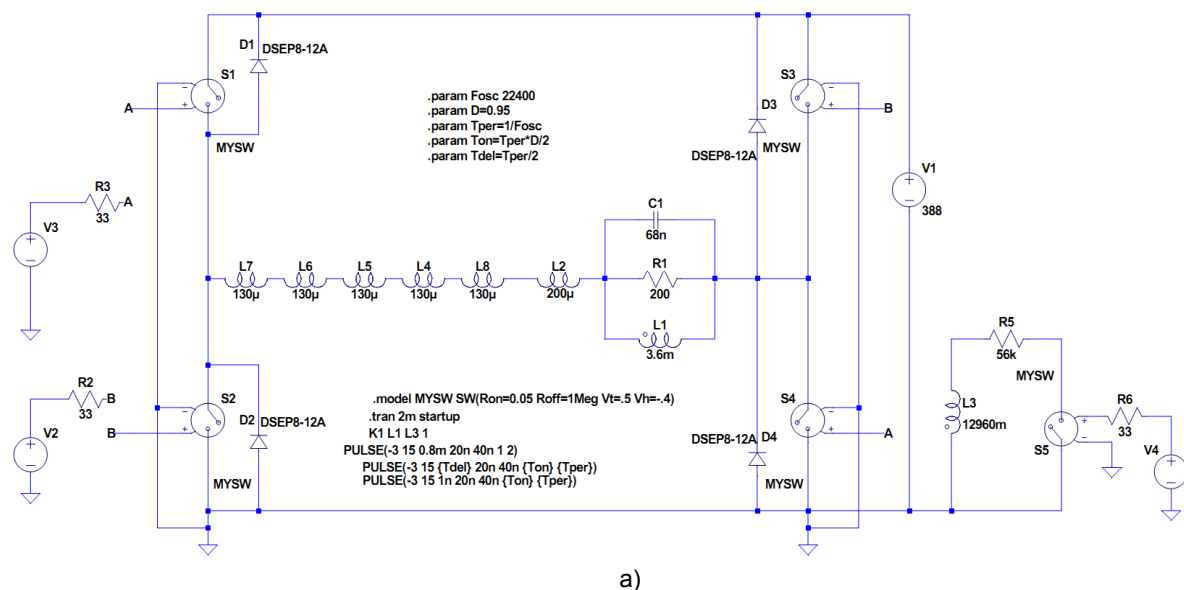
Рисунок 3 – Заступні схеми трансформатора:
а) – еквівалентна схема трансформатора, приведена до первинної обмотки;
б) – спрощена заступна схема трансформатора.

Таблиця 1

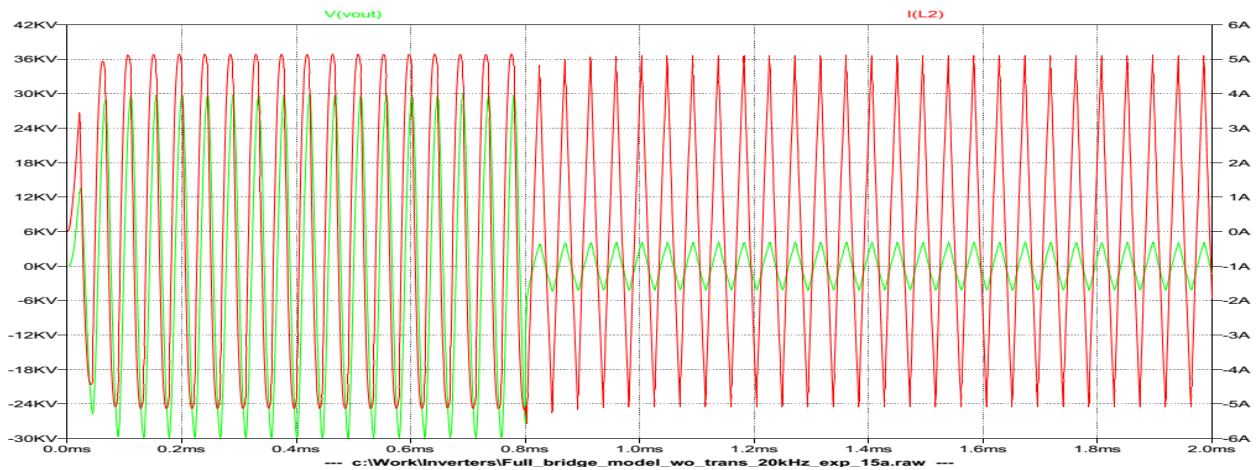
Найменування приведенного параметру	Формула приведення	Номер формули
Індуктивність розсіювання первинної обмотки	$L_{s1} = L_1 - nM$	(6)
Приведена індуктивність розсіювання вторинної обмотки	$L_{s2} = L_2 n^2 - nM$	(7)
Індуктивність намагнічування	$L_0 = nM$	(8)
Струм намагнічування	$i_0 = i_1 - \frac{i_2}{n}$	(9)
Приведений опір вторинної обмотки	$r_2' = r_2 n^2$	(10)
Приведений струм вторинної обмотки	$i_2' = \frac{i_2}{n}$	(11)
Приведена напруга вторинної обмотки	$U_2' = nU_2$	(12)

Моделювання характеристик розрядного струму за допомогою імітаційної моделі. Розроблено імітаційну модель системи живлення (рис. 4,а), в середовищі LTSpice IV на основі мостового інвертора напруги, як джерела прямокутної напруги для випадку резонансної частоти і коефіцієнта приведення навантаження $0,5 < k < 4$.

Мостовий інвертор напруги складається з ключів S1-S4 та зворотно паралельних ним діодів D1-D4. Послідовний резонансний контур являє собою набір з 5 дискретних індуктивностей L8-L4, індуктивності розсіювання трансформатора L2 та еквівалентної ємності вторинної обмотки C1. Індуктивності L8-L4 потрібні для параметричного перестроювання резонансної частоти контуру з метою дослідження роботи перетворювача на різних частотах керування силовими ключами мостового інвертора напруги.



а)



б)

Рисунок 4 – Імітаційна модель комбінованого джерела живлення (а) та результати моделювання (б) при коефіцієнті приведення навантаження $k=0,5$ та $k=4$

Результати моделювання показали стабілізацію струму при зміні коефіцієнта приведення навантаження в широких межах, а також підвищення напруги до рівня пробою газоподібного проміжку, що підтверджує теоретичні результати.

Висновки. Трансформатор в колі навантаження мостового інвертору утворює резонансний контур. Запропоновано доцільність використання резонансного контуру для забезпечення комбінованого режиму роботи джерела живлення, необхідного для синтезу нановуглецю з газоподібних вуглеводнів. Результати моделювання роботи перетворювача на основі мостового інвертора напруги з підвищуючим трансформатором показали стабілізацію струму при зміні коефіцієнта приведення навантаження в широких межах, а також підвищення напруги до рівня пробою газоподібного проміжку, що підтверджує теоретичні результати.

Список використаних джерел

1. Ткачев А.Г., Золотухин И.В. Аппаратура и методы синтеза твердотельных наноструктур. М.: Машиностроение, 2007. 170 с.
2. Пат. 95543 Україна МПК C01B 31/02 (2006.01), H05H 1/24 (2006.01), H05H 1/32 (2006.01). Спосіб одержання вуглецевих наноматеріалів (варіанти)/ Л.З.Богуславський, Д.В.Вінниченко, Н.С.Назарова (Україна); заявник і патентовласник ІІПТ НАН України. – № а 2010 01186; заявл. 05.02.2010; Опубл. 10.08.2011 р., Бюл.№ 15. -9 с.
3. Богуславский Л.З. Анализ действия высоковольтных разрядных импульсов на газообразные углеводороды.: Фізика імпульсних розрядів у конденсованих середовищах: Матеріали XVI Міжнародної наукової конференції (19-22 серпня 2013). – Миколаїв: КП „Миколаївська обласна друкарня”, 2013. – С.111-114.
4. Браун М. Источники питания Расчет и конструирование.:Пер. с англ. – К.: "МК-Пресс", 2007.-288с.,ил.
5. Б.Ю. Семенов. Силовая электроника: от простого к сложному. – М.: СОЛОН-пресс, 2005.-416с.: ил.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. АВТОМАТИКА, ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ.....	3
<i>Прищепов Е. О.</i> Генератор зондирующих импульсов для рефлектометрических приборов и систем.....	3
<i>Прищепов Е. О.</i> Подключение генераторов зондирующих импульсов к чувствительным элементам системы «САДКО».....	4
<i>Демидов І. А.</i> Розробка передавального пристрою лабораторного стенду засобів радіомоніторингу.....	6
<i>Гультияев С. О.</i> Автоматична поворотна установка для дослідження характеристик акселерометрів.....	7
<i>Дидан А. А.</i> Построение системы контроля и управления доступом	9
<i>Бодян Н. І.</i> Домашняя метеостанция на базе микроконтроллера	10
<i>Козлов О. В., Шмигельська І. В.</i> Особливості застосування штучних нейронних мереж в системах автоматичного управління.....	11
<i>Тарабцев М. В.</i> Ориентация мобильных роботов в пространстве	13
<i>Козлов О. В., Скакодуб О. С.</i> Синтез керуючих пристроїв для систем керування пластинчатими транспортерами спеціалізованих піролізних комплексів на основі генетичних алгоритмів	14
<i>Тарабцев М. В.</i> Системы дистанционного управления и передачи данных для мобильных роботов	17
<i>Грешнов А. Ю.</i> Технічні та технологічні критерії вибору рівнемірів для об'єктів морської інфраструктури.....	18
<i>Грешнов А. Ю.</i> Інформаційна модель процесу вибору рівнемірів.....	20
<i>Горбов В. Ю., Герасін О. С.</i> Интернет речей. Сучасні міжгалузеві концепції.....	21
СЕКЦІЯ 2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ.....	24
<i>Волянська Я. Б., Волянський С. М., Підлубний Д. О.</i> Підвищення техніко-економічних показників асинхронних двигунів керованих гідропропульсивних комплексів.....	24
<i>Колесник І. А., Рябенський В. М.</i> Трифазний регулятор потужності на мікроконтролері АТmega8.....	25
<i>Білюк І. С., Бугрім Л. І., Ветушко Р. П.</i> Електропривод системи автоматичного керування процесом горіння парового котла	28
<i>Шарейко Д. Ю., Білюк І. С., Фоменко А. М., Ольшевський С. І., Савченко О. В., Фоменко Л. А.</i> Блок живлення лабораторного стенда.....	29
<i>Ольшевський С. І., Білюк І. С., Савченко О. В., Шахнов В. Т.</i> Стенд для дослідження електропривода на базі безколекторного трифазного двигуна постійного струму.....	30
СЕКЦІЯ 3. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ КОМПЛЕКСИ, ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ І АПАРАТИ	33
<i>Ставинський А. А., Авдєєва О. А., Вахоніна Л. В.</i> Основні вимоги сучасного розвитку електричних машин і електротехнічних систем та комплексів на їх основі.....	33
<i>Ставинський А. А.</i> Задачі оптимального проектування електромеханічних пристроїв, електротехнічних систем і комплексів.....	39
<i>Ставинський А. А., Авдєєва О. А., Ставинський Р. А., Садовий О. С., Циганов А. М.</i> Аналіз цільових функцій і керованих змінних оптимізаційних розрахунків трансформаторів і реакторів	45
<i>Швидкий М. М., Овсянников В. М.</i> Особливості експлуатації сучасних вітроенергетичних установок.....	50
<i>Гончарук Д. О., Овсянников В. М.</i> Малопотужна автономна фотоелектрична система.....	52
<i>Гончарук Д. О., Овсянников В. М.</i> Система керування потужністю – альтернатива підвищення надійності суднової енергосистеми	54

<i>Новограцький С. Н., Прудников А. А.</i> Высшие гармоники тока основной обмотки трехфазного реактора при неизменной намагничивающей силе обмотки подмагничивания	56
<i>Чекунов В. К.</i> Расчет токов короткого замыкания в объединенных судовых электроэнергетических системах	59
<i>Жук О. К., Жук Д. О., Криворучко Д. В., Савченко О. В.</i> Оцінка спотворень в автономній електроенергетичній системі з гібридним фільтрокомпенсуючим пристроєм	64
СЕКЦІЯ 4. АВТОМАТИЗАЦІЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА	67
<i>Козирев С. С., Кравченко Д. О.</i> Система моніторингу комп'ютерної мережі з метою виявлення вразливостей	67
<i>Гребень Л. Р.</i> Аналіз та вибір захисних рішень для різних видів браузерів	68
<i>Сидорович С. В., Самойленко Д. М.</i> Аналіз мережних ресурсів щодо вразливостей доступності та автентичності	70
<i>Нечуев Д. О.</i> Алгоритм атаки на протокол керування беспілотними апаратами DSMx	72
<i>Сівко О. Е.</i> Удосконалення криптографічного захисту http протоколу	74
<i>Корицький В. І., Білецький Д. М.</i> Аналіз загроз інформаційній безпеці прив'язної підводної системи	76
<i>Хоптян Д. В.</i> Розробка програмного забезпечення для кореляційного криптоаналізу	77
<i>Касьянов Ю. І., Стаканов Д. К.</i> Об'єктивізація тонального методу для оцінювання захищеності мовної інформації за критерієм розбірливості мови	78
<i>Гратій А. О., Заноскіна П. В.</i> Удосконалення методу оцінювання ступеня захищеності мовної інформації	80
<i>Касьянов Ю. І., Кисельова Ю. П., Борцов А. С.</i> Оцінювання ефективності генератора реальної мовоподібної завади артикуляційним методом	84
СЕКЦІЯ 5. ПІДВОДНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ	88
<i>Корицький В. І., Дудкіна А. А.</i> Алгоритмічне забезпечення системи моніторингу підводного простору акваторії	88
<i>Корицький В. І., Кривошей О. С.</i> Аналіз загроз безпеці акваторії	89
<i>Тищенко В. В., Табаков Є. М.</i> Розробка системи керування прив'язного підводного апарата проекту «Глайдер»	90
<i>Блінцов О. В., Корицький В. І.</i> Система автоматичного керування рухом підводного апарата для моніторингу акваторій	91
<i>Грудініна Г. С.</i> Математичне моделювання динаміки АНПА з гребним гвинтом в поворотній насадці	93
<i>Запороженко В. С., Крітький С. А., Овсянников В. М.</i> Стислий моніторинг іноземних беспілотних підводних апаратів	94
СЕКЦІЯ 6. ІМПУЛЬСНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ	98
<i>Гулько В. И., Перекупка И. А., Топоров С. О.</i> Современное состояние в области создания высоковольтных импульсных конденсаторов с высокими удельными энергетическими характеристиками	98
<i>Богуславський Л. З., Козирев С. С., Радчук О. М.</i> Система керування електророзрядним синтезом вуглецевих нанопокриттів на металевих поверхнях	99
<i>Назарова Н. С., Козирев С. С., Гаврилов А. О.</i> Алгоритм керування електророзрядним синтезом вуглецевих наноматеріалів	100
<i>Овчиннікова Л. Є., Юркуц Є. Р., Недоступ Ю. С.</i> Система керування рухом заготовки при нанесенні вуглецевих нанопокриттів	102

<i>Малюшевская А. П., Крутинь М. Ю.</i> Интенсификация процессов обработки волокнистых материалов электрическим разрядом	103
<i>Вінниченко Д. В., Назарова Н. С., Палига О. О.</i> Вимоги до системи термічного аналізу алюмінієвих сплавів при електророзрядній обробці	105
<i>Адамчук Ю. О.</i> Методика експериментального нанесення углеродных наноструктурированных покрытий	107
<i>Петриченко С. В., Челпанов Д. И., Цолин П. Л., Савенков О. И.</i> Оптимизация параметров разрядной цепи в системах электроискрового диспергирования металлических гранул в жидкости	108
<i>Вінниченко Д. В., Золіна А. В., Палига О. О., Назарова Н. С.</i> Джерело живлення з комбінованим режимом роботи для синтезу нановуглецю з газоподібних вуглеводнів	111

Наукове видання

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ – 2018

ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

5–6 квітня 2018 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. Д. Сорочинська

Формат 60×84/8. Ум. друк. арк.15,0. Тираж 100. Зам. № 48
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 № 2506 від 25.05.2006 р.