

О.С. Безпалько, О.М. Польшакова

## **ПОШУК ОПТИМАЛЬНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ПОМІЧНИКА**

*Анотація:* Інтелектуальні помічники спрямовані на спрощення роботи з клієнтною базою різних підприємств і організацій. Також, їх використання зумовлене автоматизацією процесу надання послуг, що значно підвищує швидкість роботи з користувачами сервісу та є економічно вигідним, так як зменшує кількість працюючого персоналу та, зв'язані з ним, витрати. У рамках даної роботи здійснено аналіз та порівняння різних типів нейронних мереж під час пошуків найкращої моделі для реалізації інтелектуального помічника. Визначені основні аспекти функціонування моделей, їхні переваги та недоліки.

*Ключові слова:* інтелектуальний помічник, нейронні мережі прямого поширення, зустрічного поширення, глибокі нейронні мережі, рекурентні нейронні мережі.

### **Опис проблеми**

На теперішній час усе більше й більше знаходять застосування різноманітні типи нейронних мереж. Це й вирішення безлічі математичних задач, моделювання впливу різних факторів на об'єкт дослідження, розпізнавання зображень, робота з фотографіями, у кінці кінців створення штучного інтелекту робота. Одна з речей, яка вже широко використовується у світі, але ще не так популярна в Україні — це інтелектуальні помічники, що являють собою програми, які допомагають здійснити певні дії користувачу.

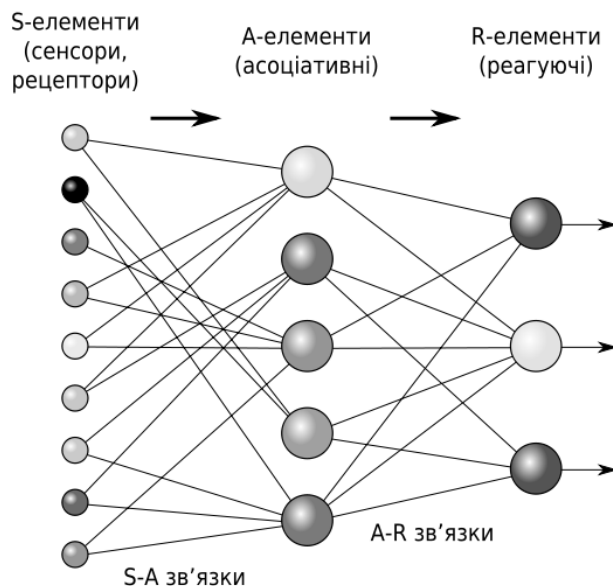
Наприклад: замовити квитки на літак, відслідковувати, коли ці квитки будуть у продажі. Ще, в якості прикладу, можна розглянути помічника, який допоможе знайти вам потрібний одяг, виходячи з досить абстрактного опису по типу: «Потрібен недорогий теплий одяг, який зараз у моді». Тому, тема даного дослідження є досить актуальною.

Проаналізуємо доступні технології та визначимо тип нейронної мережі, використання якої буде найбільш доцільною для створення інтелектуального помічника.

### **Огляд існуючих рішень**

Почнемо з розгляду мереж прямого поширення, а саме перцептрона Розенблатта. Перцептрон, який побудований на основі трьох основних частин. Спочатку інформація надходить на, так звані, елементи-сенсори, де й

відбувається початкова обробка. Після визначення основних особливостей відбувається певне абстрагування за допомогою асоціативних елементів. У свою чергу, сукупність асоціативних елементів формує відповідь за допомогою реагуючих елементів. Весь описаний процес схематично зображений на рисунку 1.



**Рис. 1.** Логічна схема перцептрону з трьома виходами.

Дана нейронна мережа є однією з найпростіших, але найчастіше вона застосовується для управління агентами та розпізнавання зображень. Виділимо переваги використання цієї технології:

- За рахунок не складної структури є досить простою у реалізації.
- Не потребує значних технічних та людських ресурсів, що робить її економічно вигідною.
- Високошвидкісна у роботі.
- Можливе вдосконалення моделі, шляхом використання навчання з вчителем, або методу зворотного поширення помилки.

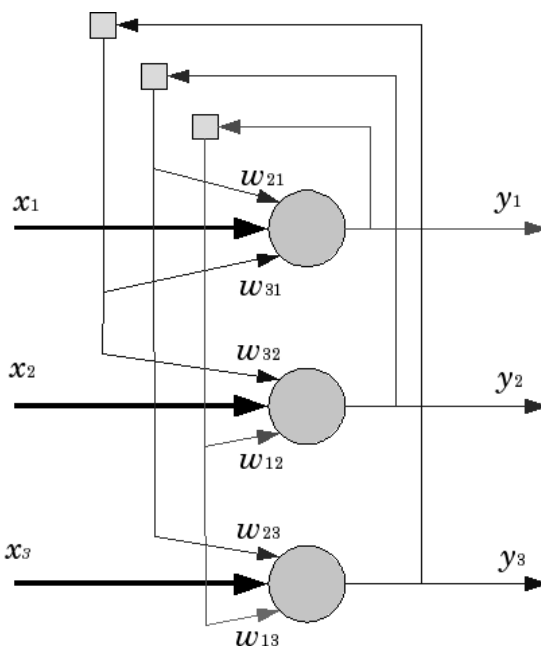
До недоліків варто віднести:

- У наслідок простоти мережі не дозволяє побудову складних логічно-наслідкових ланцюгів.
- Набагато гірші показники точності при вирішенні задач, що включає великий обсяг інформації, яка не має прямих внутрішніх зв'язків.

Більш вдосконаленими нейронними мережами є багатошаровий перцептрон Розенблатта та нейронна мережа Ворда. Перша відрізняється тим, що, на відміну від звичайного перцептрона, містить не один шар A-елементів,

а декілька. Друга ж вирізняється тим, що нейрони прихованого шару поділяються на групи, які називаються блоками. Вони можуть мати різні функції обробки інформації, що дозволяє зробити аналіз об'єкта дослідження багатостороннім [1].

Перейдемо до розгляду рекурентних нейронних мереж. Основна особливість полягає у тому, що після першого навчання сигнал передається у зворотному напрямку. Типовим представником цього типу нейронних мереж є мережа Хопфілда, схема якої зображена на рисунку 2.



**Рис. 2.** Схема мережі Хопфілда з трьома нейронами.

Алгоритм, за яким функціонує дана мережа, сильно відрізняється у порівнянні зі стандартними алгоритмами навчання. Справа у тому, що на відміну від звичного послідовного корегування до оптимального стану з прорахуванням похибки, усі коефіцієнти матриці знаходяться за єдиною формулою, і система вже готова до роботи [2].

Мережа функціонує наступним чином: проходить перше визначення коефіцієнтів зв'язку між шарами нейронної мережі, досліджуваний об'єкт пропускається через систему, на виході нейронів обчислюється різниця між отриманим значенням та еталонним, відбувається зміна ваги коефіцієнтів поки мережа не набуде стану рівноваги. Вона може працювати у двох режимах: синхронний та асинхронний.

Якщо робота мережі моделюється на одному процесорі, то при синхронному режимі послідовно проглядаються нейрони, однак їх стани змінюються не-

залежно, і не змінюються до тих пір, поки не будуть пройдені всі нейрони мережі. Коли всі нейрони переглянуті, їх стани одночасно (тобто синхронно, звідси і назва) змінюються на нові. Таким чином, досягається моделювання паралельної роботи послідовним алгоритмом.

При реально паралельному моделюванні, цей режим фактично означає, що час передачі для кожного зв'язку між елементами однаковий, що призводить до паралельної роботи всіх зв'язків, які одночасно змінюють свої стани, ґрунтуючись тільки на попередньому моменті часу. Наявність таких синхронних тактів, які можна легко виділити, і призводить до розуміння синхронного режиму. При синхронному режимі можливо (хоча і не завжди спостерігається) нескінченне чергування двох станів з різною енергією — так званий динамічний атрактор. Тому синхронний режим практично для мережі Хопфілда не використовується, і розглядається лише як основа для розуміння більш складного асинхронного режиму.

Асинхронний режим роботи мережі функціонує інакше. Спочатку обчислюється значення першого нейрона, а всі послідовні за ним знаходяться у режимі очікування. Після закінчення обрахунків першого нейрона, починається визначення значення другого, враховуючи попереднє знайдене значення. І ця процедура продовжується до того моменту, поки не буде досягнуто останнього нейрона. Зрозуміло, що при такій режим роботи унеможливує виникнення динамічного атрактору.

Найголовнішою перевагою, яка спостерігається для цього типу нейронних мереж є можливість відновлення початкового стану об'єкта, що досліджується. Конкретно для реалізації інтелектуального помічника це може надати можливість достатньо чіткого визначення основного змісту повідомлення, навіть, якщо воно написано не чітко.

Серед недолік варто виділити:

- Порівняно невеликий об'єм пам'яті.
- Отримання стійкого стану систему, не гарантує отримання правильного результату.

Далі розглянемо нейронні мережі зустрічного поширення. На відміну від мереж зі зворотним поширенням помилки ці мережі призначені для початкового швидкого моделювання. Автор мережі зустрічного поширення помилки Р. Хехт-Нільсен вдало об'єднав в одній архітектурі переваги можливості узагальнення мережі Т. Кохонена [3] і простоту навчання вихідної зірки Д. Гроссберга [4], внаслідок чого мережа отримала властивості, яких немає ні в одній з них окремо. Вона належить до класу мереж, що навчаються без вчителя.

Мережа працює з двійковими векторами, що складаються з нулів і одиниць, або безперервними. В результаті навчання вхідні вектори асоціюються

з вихідними і, коли мережа навчена, подача вхідних образів призводить до отримання вихідних. Правильний вихід може бути отриманий і тоді, коли вхід є неповним, або дещо невірним. Гіперповерхня, що отримується в результаті функціонування мережі, внаслідок принципу безперервності, дає можливість здійснювати прогнозування. Природно, що всередині гіперпаралелепіеда навчальних образів прогнозування буде більш точним, а при вирішенні задачі екстраполяції помилка буде значно більше. Схема даної мережі зображена на рисунку 3.

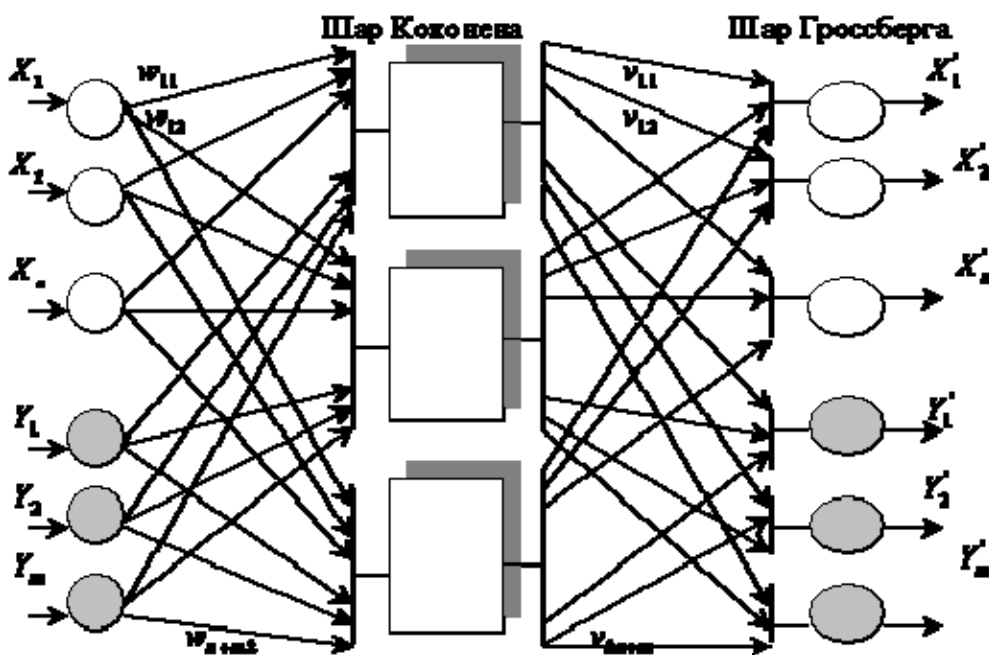


Рис. 3. Мережа зустрічного розповсюдження помилки.

Найчастіше дана система використовується спільно з мережею Хеммінга, варіацією якої є нейронна мережа Хопфілда, що була попередньо розглянута, в складі систем розпізнавання образів.

Недоліками вище розглянутої системи є — невідома кількість ітерацій, квадратичне зростання числа синапсів при збільшенні розмірності вхідного сигналу.

Перевага — простота.

Найскладнішими мережами у теперішній час є глибокі нейронні мережі. Розглянемо одного з представників глибоких нейронних мереж — згорткові нейронні мережі. У звичайному перцептроні, який представляє собою повнозв'язну нейронну мережу, кожен нейрон пов'язаний з усіма нейронами попереднього шару, і для кожного зв'язку існує свій персональний ваговий коефіцієнт. У згортковій нейронній мережі в операції згортки використовується лише обмежена матриця ваг невеликого розміру, яку «рухають» по всьому оброблюваному шару (на самому початку — без-

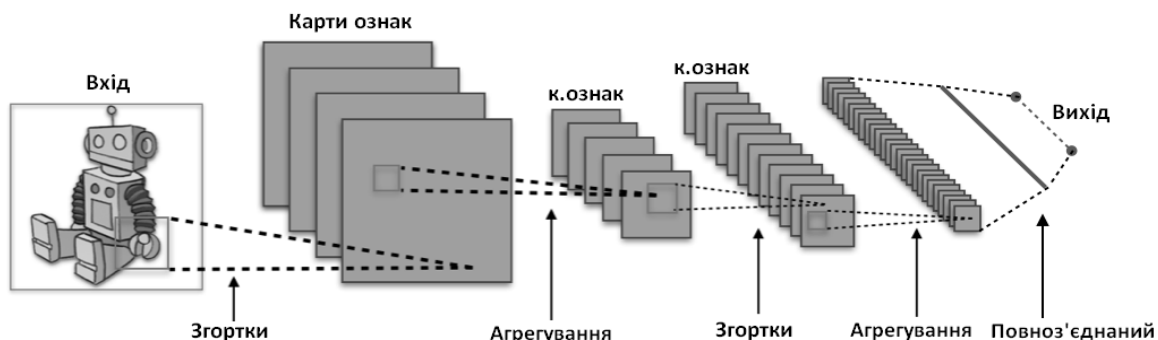
посередньо по вхідному зображенню), формуючи після кожного зсуву сигнал активації для нейрона наступного шару з аналогічною позицією. Тобто для різних нейронів вихідного шару використовується одна і та ж матриця ваг, яку також називають ядром згортки. Її інтерпретують як графічне кодування певної ознаки, наприклад, наявність похилої лінії під певним кутом. Тоді наступний шар, отриманий в результаті операції згортки такою матрицею ваг, показує наявність даної ознаки в шарі, який був оброблений, і її координати, формують так звану карту ознак. Природньо, коли в згортковій нейронній мережі набір ваг не один, а ціла гама, що кодує елементи зображення (наприклад лінії і дуги під різними кутами). При цьому такі ядра згортки не закладаються дослідником заздалегідь, а формуються самостійно шляхом навчання мережі класичним методом зворотного поширення помилки. Прокід кожним набором ваг формує свій власний примірник карти ознак, роблячи нейронну мережу багатоканальною (багато незалежних карт ознак на одному шарі). Також слід зазначити, що при переборі шару матрицею ваг її пересувають зазвичай не на повний крок (розмір цієї матриці), а на невелику відстань. Так, наприклад, при розмірності матриці ваг  $5 \times 5$  її зрушують на один або два нейрона (пікселя) замість п'яти, щоб не «переступити» ознаку, яку шукають.

Операція субдискретизації, або агрегування виконує зменшення розмірності сформованих карт ознак. У даній архітектурі мережі вважається, що інформація про факт наявності шуканої ознаки важливіше точного знання його координат. Тому з кількох сусідніх нейронів карти ознак обирається максимальний і приймається за один нейрон ущільненої карти ознак меншої розмірності. За рахунок цієї операції, крім прискорення подальших обчислень, мережа стає більш інваріантною до масштабу вхідного зображення [5].

Розглянемо типову структуру згорткової нейронної мережі більш детально (рисунок 4). Мережа складається з великої кількості шарів. Після початкового шару (вхідного зображення) сигнал проходить серію згорткових шарів, в яких чергується власне згортка і агрегування. Чергування шарів дозволяє складати «карти ознак» з карт ознак. На кожному наступному шарі карта зменшується в розмірі, але збільшується кількість каналів. На практиці це означає здатність розпізнавання складних ієрархій ознак. Зазвичай після проходження декількох шарів карта ознак вироджується в вектор або навіть скаляр, але таких карт ознак стають сотні. На виході згорткових шарів мережі додатково встановлюють перцептрон, на вхід якого подаються кінцеві карти ознак.

Поговоримо про недоліки. Ця мережа найчастіше використовується для розпізнавання зображень. Тому використання її, як основи, для текстового консультанта є недоцільним. Детальне дослідження повідомлення принесе незначні покращення у точності результатів, але, при цьому, помітну затримку у часі ро-

боти самої системи. Враховуючи, що потік запитів може бути досить великим, це може призвести до значних та невиправданих затримок.



**Рис. 4.** Згорткова нейронна мережа.

Отже, якщо, наприклад, покупцю потрібно буде знайти якусь модель одягу за фото, то застосування загорткової нейронної мережі для інтелектуального помічника буде найбільш ефективним вирішенням такого типу задач. При цьому, будуть отримані найкращі показники точності разом із задовільною швидкістю.

### **Висновки**

У рамках роботи була визначена актуальність досліджуваного питання, розглянуті різні типи нейронних мереж, проведений їх аналіз і, як результат, був сформований висновок, що при виборі оптимальної мережі для інтелектуального помічника потрібно враховувати особливості проекту для якого він буде використовуватися. Це й доступність фінансових та технічних ресурсів, обсяг вхідної інформації, формат, у якому ця інформація надається, вимоги до швидкодії та точності отриманих результатів та інше.

### **Список використаних джерел**

1. B.V.Kryzhanovsky, B.M.Magomedov, A.L.Mikaelian. «A Domain model of neural network», Doklady Mathematics vol.71, pp. 310–314 (2005).
2. J. J. Hopfield. Learning algorithms and probability distributions in feed-forward and feed-back networks. — 1987.
3. Kohonen T. 1984. Self-organization and associative memory. Series in Information Sciences, vol. 8. Berlin: Springer Verlag.
4. Qrossberg S. 1969. Some networks that can learn, remember and reproduce any number of complicated space-time patterns. Journal of Mathematics and Mechanics, 19:53-91.
5. Уоссермен, Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. — М.: Мир, 1992. — 240 с. — ISBN 5-03-002115-9.

## **ЗАВДАННЯ СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ В УМОВАХ НЕДОВИЗНАЧЕНОСТІ ПОКАЗНИКІВ ВАГИ ТА ОБ'ЄМУ ВАНТАЖУ**

*Анотація:* Розглянуто завдання визначення достатньо ефективного розкладу перевезення вантажу для комплексу транспортних засобів в умовах недовизначеності показників ваги та об'єму вантажу. Постановка та вирішення завдання.

*Ключові слова:* логістика, алгоритми пошуку маршрутів, алгоритми складання розкладів перевезень.

### **Вступ**

У сучасному бізнесі суттєву складову мають компанії які в своїй діяльності стикаються з завданнями перевезення різного виду вантажів. Це визначило великий попит на ефективне вирішення завдань логістики для різноманітних умов виконання перевезень та стимулювало розвиток точних та наближених методів вирішення таких завдань. Проте кожна з галузей перевезень має окрім типових особистісні складові, що роблять наявні підходи не достатньо ефективними. Таким чином класична задача маршрутизації транспортних засобів з розділеним обслуговуванням (SDVRP) в кожному випадку має свої особливості.

Для обраного нами процесу діяльності що до вивозу сміття для утилізації фактичні показники як ваги так і об'єму завантаженості баків (далі – Вантажних Одиниць (ВО)) замовника є суттєво недовизначеним [1]. Єдиною інформацією, якою можна скористатися для оцінювання, є дані про загальну множину ВО, що були фактично обслуговані за конкретний рейс транспортного засобу (далі ТЗ) та вантажопідйомність ТЗ. Для інших показників наявні лише дуже усереднені з великим розбігом значень оцінки.

Для подібних логістичних процесів рішення, що здатні ефективно виконувати завдання складання розкладу перевезень в умовах недовизначеності показників оцінювання об'єкту транспортування є актуальними.

### **Постановка завдання**

Розглянемо завдання складання розкладу перевезень в умовах недовизначеності показників оцінювання для об'єкту транспортування.

Нехай ми маємо теоретико-множинну модель предметної області:

$$G = \langle V, Z, R, V', L, P, K', T \rangle,$$



де  $V$  - множина ВО. ВО можуть бути встановлені по декілька в одному місці;  $Z$  - топологія розміщення ВО та місце доставки вантажу  $v''$ , що для кожного  $i - zO$  ВО  $v_i \notin V$  встановлює географічні координати  $z_i$ ;  $C$  - множина характеристик, наявних безпосередніх шляхів сполучення з іншими ВО та місцем доставки вантажу, що в даній роботі узагальнюються показником вартості перевезення з пункту  $i$  в пункт  $j$ ,  $C = \{c_{ij}\}, i \in V, j \in V$ ;  $V'$  - множина ВО, що повинна бути відвантажена протягом горизонту планування.

Для кожного  $v_i \notin V'$  для можливості планування потрібна оцінка показника ваги  $w_i = [w_{i\max}; w_{i\min}]$ ; У якості такої оцінки ми можемо використати лише мінімальну та максимальну статистичну оцінку кількості ВО обслугованих ТЗ певного типу за один рейс.

$L$  - наявний парк ТЗ з параметрами цих засобів та кількістю одиниць кожного виду. Кожному транспортному засобу відповідає один водій;

$P$  - тривалість робочої зміни водіїв ТЗ;

$R$  - розклад обслуговування  $V'$  ВО на зміну;

$K'$  - множина рейсів (кластерів) які заплановані у розкладі на зміну для усіх ТЗ.  $R = \cup k_j, k_j \in K'$ ;

$T$  - множина показників тривалості виконання змінного завдання кожною машиною(водієм)  $t_l \in T, t_l = \sum_{k \in K', l \in L} t_{kl}$ .

Потрібно виконати завдання складання розкладу перевезень на зміну так, щоб різниця у навантаженні на кожного з водіїв, відхилення реально перевезеного  $V''$  від замовленого  $V'$  об'єму перевезень на зміну та вартість виконання всього об'єму перевезень були мінімальними при умові не перевищення тривалості робочої зміни водіїв. Тобто

$$\arg \min_{t_l, t_l \in T, l \in L} \max_{l, l \in L} |t_l - t_l|; t_l = f(R), t_l \leq P \text{ для } \forall l \in L \quad (1)$$

$$C = \sum_{i \in V'} \sum_{j \in V'} \sum_{l \in L} c_{ijl} \rightarrow \min \quad (2)$$

$$(|V'| - |V''| = f'(R)) \rightarrow \min \quad (3)$$

Обмеження:

$$\sum_{i \in V'} \sum_{l \in L} x_{ijl} \geq 1, j = 1, 2, \dots, |V'|;$$

$$\sum_{i \in V'} x_{ijl} = \sum_{i \in V'} x_{jil}, j = 1, 2, \dots, |V'|, l = 1, 2, \dots, |L|;$$

$$u_{ilk} - u_{jlk} + nx_{ijl} \leq |V'| - 1, j = 1, 2, \dots, |V'|, l = 1, 2, \dots, |L|, k = 1, 2, \dots, |K|;$$

$$w_i \sum_{l \in L, i \in k_n, j \in k_n} x_{ijl} \leq W, n = 1, 2, \dots, |K|;$$

де  $x_{ijl} = 1$  якщо ТЗ  $l$  іде напряму від ВО  $i$  до ВО  $j$ ;  $u_{ilk}$  – позиція ВО  $i$  у маршруті для ТЗ  $l$  у  $k$ -му рейсі.

Специфічні умови завдання: початковий пункт, місце призначення вантажу та кінцевий пункт прибуття однакові для усіх ТЗ. Наразі усі ТЗ мають однакову місткість та ВО мають однаковий тип. Один ВО може бути обслугованим лише одним ТЗ. Оскільки кожен рейс закінчується відвантаженням у одну точку призначення, то тільки ця точка може повторюватися у маршруті рейсу двічі. Перевантаження ТЗ не припустимо і момент повного завантаження визначається динамічна тільки в процесі обслуговування. Матриця відстаней між ВО задовольняє нерівності трикутника.

Визначення: рейсом ТЗ будемо називати один цикл обслуговування ВО-в від моменту розвантаження/виїзду з гаража на початку зміни (початкова точка рейсу) до моменту відвантаження /заїзду в гараж в кінці зміни (кінцева точка рейсу).

### Вирішення задачі

В поставленій задачі залежність вартості перевезень та відхилення від плану за наявне вікно виконання перевезень є алгоритмічною, тобто ми не маємо недиференційованої функції  $t_l = f(R)$  та  $V = f(R)$ . Оскільки на етапі складання розкладу невідома вага та об'єм вмісту ВО, тому невідомо скільки ВО може бути обслуговано за один рейс відвантаження та враховуючи комбінаторну складність задачі комівояжера, скористаємося пошуком ефективного евристичного рішення.

Ефективне розв'язання складних комбінаторних задач або задач із недиференційованою цільовою функцією має базуватись на поєднанні методів локального та глобального пошуку. В цій ситуації скористаємося методом вектору спаду Сергієнка І.В. [2] та деякими евристичними алгоритмами.

#### Послідовність етапів вирішення завдання

1. Розбиваємо заплановану множину ВО на кластери. Розмір кожного кластера відповідає максимальній місткості ТЗ. Для цього :

- a) Відсортуємо всі вершини графу за віддаленістю від початкової вершини – обрано для поточного варіанту рішення місце відвантаження;
- b) Обираємо найбільш віддалену вершину та зафіксуємо її;
- c) Сортуємо весь масив за ступенем наближеності до зафіксованої вершини;
- d) Відрізаємо перші  $S$  ( що дорівнює максимальній місткості ТЗ) ВО від початкового масиву та зберігаємо їх як перший кластер.

- е) Повторювати кроки 1-4 зі зменшеним масивом доки всі елементи не будуть опрацьовані.

2. Для наявної множини кластерів визначаємо послідовність обходу та призначення транспортного засову наступним чином:

- а) Обираємо ТЗ, що першим звільнився після виконання рейсу. Для ТЗ, які мають однаковий час звільнення вибираємо випадково.
- б) Формуємо наступний кластер для рейсу обслуговування за критерієм близькості до попереднього та віддаленості від точки призначення.
- с) Якщо протягом попередніх рейсів виявилися ВО, що не були обслуговані, вони додаються до кластеру.

3. Визначаємо достатньо ефективний маршрут обслуговування ВО в кластері. Визначення маршруту у кластері є задачею типу комівояжера і рішення таких задач є NP трудним. Знаходження точного рішення задачі у такій постановці не може бути практично реалізоване, тому автори скористався пошуком достатньо ефективного наближеного рішення задачі. Скористаємося гібридним алгоритмом [3], що ґрунтується на наступному - перегляд перестановок методом локального пошуку ; для кожної перестановки застосування наближеного алгоритму отримання набору маршрутів.

Загальна схема алгоритму:

- а) Генерація стартової послідовності. У якості початкового рішення беремо маршрут рейсу попередньої зміни, який має найбільший перетин ВО з поточним кластером з додаванням до перетину нових ВО.;
- б) Пошук з заборонами;
- с) Зміна декодери;
- д) Спуск по околам ;
- е) Якщо вичерпано максимальну кількість ітерацій- виведення рекорду;
- ф) Зміна декодера. На 2.

Локальний спуск по черзі околиць

- а) Регулярна зміна околиці з метою знаходження спільної локального оптимуму для всіх околиць;
- б) shift, swap, 2-opt, exchange, k-split (поліноміальної потужності),
- с) Використовуємо метод динамічного програмування в якості процедури декодування.

Процедура пошуку з заборонами

- а) Застосовується для диверсифікації пошуку з метою змінити район пошуку;
- б) Використовуються рандомізовані shift, swap і 2-opt околиці.
- с) Як заборони, застосовуються пари ВО;

d) Використовується жадібний метод декодування послідовностей;

e) Критерій зупинки - максимальне число ітерацій.

4. Після обслуговування останнього ВО рейсу стає відомим (водій сповіщає) про множину обслугованих ВО.

5. Якщо усі ВО обслуговані ТЗ повертається у гараж і алгоритм закінчує роботу.

6. Якщо вікно обслуговування закінчено (закінчується зміна) і не всі ВО обслуговані, вони заносяться до пріоритетного списку обслуговування і для них на початку наступної зміни формується окремий розклад для першочергового обслуговування. Першочергове обслуговування виконується також за цим алгоритмом. Алгоритм закінчує роботу.

7. Через те, що алгоритм дозволяє здійснити розрахунок плану перевезень в оперативний час, а його вартість суттєво нижча за вартість перевезень, то перерахунок плану здійснюється при закінченні кожного рейсу. Тому, якщо вікно обслуговування не закінчено (закінчується зміна) і не всі ВО обслуговані, переходимо до пункту 1.

### **Висновки**

Поданий метод вирішення специфічної задачі типу комівояжера дозволяє отримати прийнятне рішення в заданому проміжку часу проходження екземпляру процесу діяльності, дозволяє враховувати попередні результати складання маршрутів і може бути використаним в умовах недовизначеності показника наповненості вантажних одиниць обслуговування.

### **Список використаних джерел**

1. Нариньяни А. С. Недоопределённость в системах представления и обработки знаний. //Изв. АН СССР. Техн.кибернетика. – 1986. – №5.

2. Сергиенко И.В., Лебедева Т.Т., Рощин В.А. Приближенные методы решения задач дискретной оптимизации. // Киев: Наук. Думка, 1980. –276 с.

3. Хмелев А.В. Алгоритмы локального поиска для задач маршрутизации транспортных средств. [Электронный ресурс] / //http://www.math.nsc.ru/LBRT/k5/Kochetov/Khmelev\_avtoref.pdf.

## БАГАТОВИМІРНІ ШТРИХОВІ КОДИ

*Анотація.* В роботі наведено особливості класифікації, структури, та застосування штрихових кодів, відмінності лінійних та двовимірних штрихових кодів, проведено аналіз та порівняння деяких, найбільш розповсюджених двовимірних штрихових кодів, наведено особливості застосування та перспективи подальшого розвитку тривимірних та чотиривимірних кодів. Запропоновано використання інших завадостійких кодів для корекції інформації при зчитуванні.

*Ключові слова:* штрихове кодування, двовимірні, тривимірні та чотиривимірні штрихові коди, матричні штрихові коди, композитні штрихові коди, сканери штрих-кодів, шари даних, рівень корекції помилок.

### Вступ

На сьогоднішній день офіційно існує більше 50-ти типів одновимірних (1D) і більше 70-ти двомірних (2D) штрих-кодів і їх кількість постійно збільшується. Одномірні і двомірні штрих-коди найбільш відомі і широко поширені, однак бувають і інші види штрих-коду, менш відомі.

Отже, за видами, штрих-коди поділяються на:

- Лінійні одновимірні (1D) (також їх називають GS1 або RSS - цю абревіатуру намагаються не використовувати, так як є така ж з іншим значенням);
- Двовимірні (2D), в тому числі матричні і композитні;
- Особливі кольорові штрих-коди, їх відносять до розряду тривимірних (Color C Code (CCC) або 3D);
- чотиривимірних (4D);
- Композитні - розміщені поруч майже будь-який лінійний штрих-код і двомірні MicroPDF417 (композитний штрих-код тип А) або PDF417 (композитний штрих-код тип С).

*Лінійні (одновимірні)* - це штрих коди, що читаються в одному напрямку (зазвичай, по горизонталі). Найбільш розповсюджений є такі лінійні символіки: EAN, UPC, Code39, Code128, Codabar, Interleaved 2 of 5. Лінійні штрих коди дозволяють кодувати невеликий об'єм інформації (до 20-30 символів - зазвичай цифр) за допомогою нескладних штрих-кодів, що читаються недорогими сканерами .

*Двовимірними* називаються символіки, розроблені для кодування великого обсягу інформації (до декількох сторінок тексту). Двовимірний код зчитується за допомогою спеціального сканера двомірних кодів і дозволяє швидко і безо-

милково вводити великий обсяг інформації. Розшифровка такого коду проводиться в двох вимірах (по горизонталі і по вертикалі).

**Тривимірні** «Color C Code» з'явилися порівняно недавно - в 2010 році. На відміну від одновимірного або двовимірного штрих-коду вони можуть містити в собі будь-яку цифрову інформацію: документи, зображення, звук, анімацію і т.д. Однак не всі кольорові штрих-коди відносяться до розряду тривимірних.

**Чотиривимірні** штрих-коди зустрічаються вкрай рідко, та й технології їх створення та розшифровки поки нерозповсюджені. Обсяг кодової інформації в них може бути ще більше, ніж в тривимірних кодах, вони можуть вміщати цілі сторінки сайтів, фото, рекламні та інші відео ролики і т.д.

## 1. Особливості штрихових кодів

Існує багато різних типів штрих коду розроблених для оптимізації одного чи кількох критеріїв:

*Висока інформаційна щільність, або високий дозвіл.* Мініатюрні типи штрих-коду можуть бути надруковані і використані на виробках, де місце для кріплення обмежено, наприклад, друковані плати.

*Оптимальне розташування даних,* коли можливість помилок читання практично нульова. Це дуже важливо для застосувань штрих коду в медицині.

*Легкість дешифрування.* Деякі типи штрихових кодів використовують технологію кодування, яка широко підтримується виробниками сканерів. Штрих коди, наприклад, що використовуються в роздрібній торгівлі, мають точно визначений зміст даних. Вони структуруються для забезпечення зручності великої кількості користувачів.

Деякі типи штрих коду розроблені з підтримкою значної кількості наборів символів, тоді як інші підтримують лише цифрові дані.

Найбільш широке розповсюдження на сьогоднішній день отримав Двовимірний код (або 2-D код) - найбільш загальне найменування для всього цього класу символів.

Назви *стековая символіка* (stacked symbology) або *багаторядний код* (multi-row code) більш точно відображають сутність серії кодів, в яких дані кодуються у вигляді кількох рядків звичайних одновимірних штрих-кодів.

Назва *матричний код* (*Matrix code*) застосовується для позначення двовимірних кодів, заснованих на розташуванні чорних елементів усередині матриці. Кожен чорний елемент має однаковий розмір і позиція елемента кодує дані.

Звичайний штрихкод має "вертикальну надмірність", що означає що одна і та ж інформація повторюється по вертикалі. Це дійсно одновимірний штрих. Висота штрихів може бути зменшена без втрати інформації. Однак, вертикальна

надмірність дозволяє штрихкоду, що має дефекти друку (наприклад плями або просвіти) зберігати можливість прочитання.

Двомірний код містить інформацію як по горизонталі, так і по вертикалі. Фактично, всі алфавіти є аналог двомірного коду. Оскільки обидва напрямки містять інформацію, втрачається можливість використання вертикальної надмірності. Для запобігання втрати читабельності і забезпечення швидкості зчитування повинна використовуватися інша технологія. Боротьба з помилками забезпечується досить просто - більшість двомірних кодів використовують спеціальні контрольні суми, що дозволяють гарантувати достовірність інформації, що вводиться.

2-D символіки стали більш прийнятними зі збільшенням використання сканерів з лазерним променем і з приладами CCD. Тепер можна читати такі коди просто провівши або махнувши рукою зі сканером над символікою. Швидкість такого руху, дозвіл сканера і дистанція сканер-символіка залишаються такими ж критичними як і з контактними зчитувачами і одновимірними штрихкодами.

Спочатку двомірні коди розроблялися для додатків, що не дають місця, достатнього для розміщення звичайного штрихкодового ідентифікатора. Першим застосуванням для таких символів стали фасування лікарських препаратів в охороні здоров'я. Ці фасування малі за розмірами і мають мало місця для розміщення штрих-коду. Електронна промисловість також проявляє інтерес до кодів високої щільності і двомірним кодами в зв'язку зі зменшенням розмірів елементів і виробів [1].

Можливість кодування портативної бази даних зробила двомірні коди привабливими для додатків, в яких мінімізація розміру коду не є основною вимогою. Наприклад, зберігання імені, адреси та демографічної інформації на картках прямої комерційної розсилки (direct mail business reply cards). Якщо повернута картка містить тільки ідентифікатор, який використовується як ключ до бази даних, то ймовірно, що картки доведеться звир'ятати з величезною базою даних, що містить мільйони імен. Це зажадає великих витрат на комп'ютерну обробку та зберігання такої бази. Якщо вся важлива інформація буде надрукована одночасно з печаткою пропозиції на картці, істотного збільшення витрат не відбудеться, а інформація буде швидко введена з картки в комп'ютер. Працівникові набагато зручніше зчитати двомірний штрих-код за допомогою портативного пристрою, ніж звертатися до комп'ютера, розташованого в офісі [3].

## 2. Найбільш популярні двовимірні штрихові коди PDF 417

Стекова символіка PDF417 була введена в 1991 році фірмою Symbol Technologies. PDF походить від скорочення Portable Data File (Портативний Файл Даних), штрихкод символ складається з 17 модулів, кожен з яких містить 4 штриха і пробілу (звідси номер 417). Штрихкод відкритий для загального користування.

Структура коду підтримує кодування максимального числа від 1000 до 2000 символів в одному коді за інформаційної щільності від 100 до 340 символів. Кожен код містить стартову і стопову групи штрихів, що збільшують висоту штрих-коду.

Код PDF417 зчитується за допомогою спеціального лазерного або CCD-сканера. Символіка штрихового коду PDF417 представляє хороші можливості для кодування призначених для користувача даних в компактному і зручному для автоматичного зчитування та вигляді. Для того, щоб забезпечити високий рівень надійності зчитування конкретного символу PDF417 сканерами штрихових кодів, при завданні його параметрів перед друком необхідно враховувати ряд рекомендацій. Розділимо їх на дві групи:

- 1) Рекомендації на відносні розміри елементів штрихового коду;
- 2) Рекомендації по вибору рівня корекції помилок.

### ***Рекомендації на відносні розміри елементів штрихового коду.***

Кожен символ PDF417 являє собою прямокутну матрицю, складену з знаків символу, кожному з яких відповідає кодове слово - число від 0 до 928. Знак символу - це послідовність з чотирьох штрихів і чотирьох прогалін, ширини яких кратні деякій величині, званої шириною модуля або просто модулем. Ширини всіх штрихів і прогалін знака можуть бути від 1 до 6 модулів, а сукупна ширина всіх його елементів повинна дорівнювати 17 модулів.

Значення ширини модуля має бути одним і тим же для всіх знаків даного символу. Висотою модуля називається висота одного рядка символу PDF417. Всі рядки повинні мати однакову висоту. ГОСТ, що описує специфікацію символіки PDF417, рекомендує наступні співвідношення між шириною (X) і висотою (Y) модуля:

а) для символів, рівень корекції помилок в яких не менше мінімального рекомендованого (див. пункт 2):

б) для символів, рівень корекції помилок в яких менше мінімального рекомендованого:

Також бажано, щоб у всіх випадках

Нижче зображені три символи PDF417, в яких закодовані одні й ті ж дані, але в перших двох з них не враховані рекомендації, тому їх автоматичне зчиту-



Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 2' (33) 2018  
вання може бути ускладнене (рис.1б), в останньому символі рекомендації  
враховані, він добре підходить для автоматичного сканування (рис.1б):



*Рис. 1.* Три символи PDF417.

Важливо, щоб навколо символу PDF417 була залишена вільна зона - область кольору фону, вільна від зображень і написів. ГОСТ рекомендує, щоб ширина вільної зони, що оточує символ PDF417 по периметру, дорівнювала [4].

***Рекомендації по вибору рівня корекції помилок.***

Специфікація символіки PDF417 передбачає можливість корекції помилок або, інакше кажучи, можливість повноцінного зчитування частково пошкодженого символу. Пошкодженням ми називаємо будь-яке спотворення символу, викликане поганою якістю друку, попаданням бруду, перекриттям його іншими об'єктами, а також невдалими умовами сканування (ракурс, освітлення, відстань до сканера) і іншими явищами, через які зображення символу PDF417, що отримується сканером, буде неякісним. Корекція помилок реалізується за рахунок того, що в символі кодуються не тільки призначені для користувача дані, але ще й спеціальна послідовність кодових слів, званих кодовими словами корекції помилок.

У специфікації PDF417 передбачені 9 рівнів корекції помилок, кожному з яких відповідає своє кількість кодових слів корекції помилок. Якщо  $s =$  - це рівень корекції помилок, то відповідне йому кількість кодових слів дорівнює

2. Створення цієї послідовності здійснює конкретний генератор символів PDF417. Рівень виправлення помилок задається користувачем. Чим вище рівень корекції, тим більші пошкодження символу допустимі при збереженні можливості зчитування. Наприклад, при зчитування стає неможливим при пошкодженні навіть одного знака символу (див. Пункт 1), тоді як рівень гарантує зчитування символу, в якому пошкоджено до 15 знаків символу, а в деяких випадках і до 30 [4].

ГОСТ містить рекомендації щодо вибору рівня корекції помилок в залежності від кількості кодових слів, що містять призначені для користувача дані.

*Таблиця 1. - Рівні коректування помилок*

<b>Кількість кодових слів даних користувача</b>	<b>Мінімальний рівень коректування помилок</b>
від 1 до 40	2
від 41 до 160	3
від 161 до 320	4
від 321 до 863	5

Необхідна кількість кодових слів призначених для користувача даних можна приблизно обчислити виходячи з характеру даних, дотримуючись рекомендацій:

а) якщо дані представляють собою тільки послідовність цифр, то шукана кількість кодових слів даних буде приблизно дорівнювати кількості цифр, розділеному на 2.9;

б) якщо дані є текстовими, то кількість кодових слів можна оцінити як кількість текстових знаків, поділене на 1.8;

в) в інших випадках приблизну кількість кодових слів даних дорівнюватиме розміру призначених для користувача даних в байтах, розділеному на 1.2.

Це лише загальні рекомендації. Більш кращим є забезпечення високої якості друку символу, в порівнянні з компенсацією низької якості друку збільшенням рівня корекції помилок.

При високу ймовірність появи в символі PDF417 пошкоджених або повністю стертих знаків символу, рівень корекції помилок може бути збільшений, в тому числі до рівня 8. Однак, в цьому випадку є ризик того, що в силу обмежень на загальна кількість кодових слів в символі PDF417, закодувати в одному символі всі призначені для користувача дані і послідовність кодових слів корекції помилок, що відповідає обраному рівню корекції, виявиться неможливим. В цьому випадку рекомендується використовувати передбачений специфікацією режим Макро PDF417, що представляє собою механізм поділу даних на блоки та подання їх у вигляді набору з декількох символів PDF417, або звернутися до інших двовимірним символіки, які дозволяють більш ефективно кодувати великі обсяги даних. Наприклад, символіка Aztec приблизно на 40% ефективніше PDF417 кодує цифрові дані.

### **Micro PDF 417**

Символіка штрихового коду MicroPDF417 побудована на базі символіки PDF417 і має з нею багато спільного. Основна відмінність полягає в більш компактному кодуванні даних. Специфікація символіки приведена в міжнародному стандарті ISO / IEC 24728: 2006.

Штрих-код MicroPDF417 дозволяє закодувати в одному символі:

- до 150 байт інформації;
- до 250 літерних символів (включаючи символи табуляції, перекладу рядка і повернення каретки);
- до 366 цифр.

Крім того, є можливість розбити повідомлення на блоки, які розміщуються в різних символах MicroPDF417, але зчитуються єдиним сполученням. Для цього в стандарті передбачений механізм склейки штрих-кодів (Structured Append). Кількість штрих-кодів з яких складається повідомлення може досягати 99 999.

MicroPDF417 рекомендується застосовувати, як альтернативу PDF417 при обмеженнях на розмір області друку штрих-коду.

Таке значне зменшення розмірів досягається за рахунок заміни стартових, степових і індикаторних стовпців PDF417 на більш компактні стовпчики ідентифікаторів рядків (Row Address Pattern, RAP) MicroPDF417. Сусідні рядки в цих стовпцях відрізняються лише одним модулем, завдяки чому стовпці легко локалізувати в процесі зчитування штрих-коду. Кількість рядків символу MicroPDF417 і рівень корекції помилок визначається за даними витягнутих з двох стовпців ідентифікаторів рядків. Рівень виправлення помилки фіксований для кожного розміру символу. Може бути виправлено до 64% пошкоджень. Виграш в компактності MicroPDF417 досягається за рахунок зниження надійності зчитування при пошкодженнях зображення символу.

У порівнянні з PDF417, символіка MicroPDF417 менш гнучка, і має наступні обмеження: максимальне число стовпців даних - 4, максимальне число рядків - 44. Стовпці даних MicroPDF417 формуються аналогічно PDF417. У символах, що містять три чи чотири стовпці даних, є центральний стовпець ідентифікаторів рядків (рис. 2).



**Рис. 2.** Штрих-коди MicroPDF417 з центральним стовпчиком ідентифікаторів рядків

PDF417 і MicroPDF417 теоретично можливо зчитати лазерним сканером, але на практиці дуже часто, через ігнорування рекомендацій до розмірів і друку символів штрих-коду, зробити це виходить тільки за допомогою image сканера. Рекомендацій стандарту потрібно дотримуватися, щоб забезпечити надійне зчитування штрих-кодів сканерами різних виробників.

## Aztec Code

Aztec Code введений Енді Лонакром (Andy Longacre) з фірми Welch Allyn Inc. в 1995 році і відкритий для загального використання. Aztec Code розроблений для легкої друку і легкої розшифровки. Штрихкод являє собою квадратну матрицю з концентричними квадратами в центрі, які служать для визначення позиції коду щодо сканера і мірної лінійкою по краю коду.

Тип штрих-кодів Aztec є представником сімейства двомірних матричних штрих-кодів, і тому для нього справедливо все сказане вище. Зображення такого штрих-коду є квадратною монохромну матрицю, складену з темних і світлих модулів, в центрі якої знаходиться набір квадратних концентричних кілець[5].

Найменший штрихкод Aztec має площу 15x15 модулів, найбільший - 151x151. Мінімальний код Aztec кодує 13 цифр або 12 букв, а максимальний - 3832 цифри або 3067 букв або 1914 байт даних. Символіка не вимагає вільної зони навколо штрих-коду. Існують 32 градації розміру коду з можливістю вибіркової інсталяції захисту від помилок за методом Ріда-Соломона (Reed-Solomon) від 5% до 95% від області коду. Рекомендований рівень - 23% ємності коду плюс 3 кодових слова.

Кодуються всі 8-бітові значення. Величини 0 - 127 представляються у вигляді набору символів ASCII, значення 128-255 представляються як ISO 8859-1, Latin Alphabet No.1. Крім даних можна закодувати два службових символу: FNC1 для сумісності з деякими існуючими додатками і ECI (escape-послідовність) для стандартизованої кодування повідомлень.

Особливості Aztec:

- Розмір від 15x15 до 151x151 модулів;
- Чітка структура штрих-коду Aztec дозволяє відмовитися від вільної зони (чистої області навколо штрихового коду). Він може бути розташований впритул до тексту, іншим штрих-кодами і т.п .;
- Сканери VMC зчитують штрих-коди типу Aztec повернені під довільним кутом, в дзеркальному відображенні або інвертовані за кольором;
- Обсяг інформації, що кодується в одному штрих-коді: від 6 довільних байт (або 12 букв/13 цифр) до 1914 довільних байт (або 3067 букв / 3832 цифр). Значення вказані для рекомендованого стандартом рівня корекції помилок;
- Система корекції помилок призначена для збереження цілісності даних при пошкодженні штрих-коду. Рівень виправлення помилки користувач може задавати самостійно, виходячи з передбачуваних умов застосування штрихового коду. Зокрема, стандарт Aztec дозволяє створити штрих код, який буде зчитуватися при пошкодженні до 90% його площі (за умови збереження ключових елементів його структури);

- Структурне з'єднання дозволяє розподіляти інформацію на кілька штрих-кодів (до 26-ти), що може бути корисно при розміщенні штрих-кодів в умовах обмежень на місце розташування і розміри (наприклад, іноді зручніше розташувати поруч кілька невеликих штрих-кодів, ніж один великий). Також структурне з'єднання може використовуватися для кодування великих обсягів інформації, що не вміщується в одиночний штрих-код;

- Можливість кодувати довільні 8-ми бітові послідовності, наприклад, літери різних алфавітів і будь-які дані в призначеному для користувача форматі; Підтримка настроювальних символів, застосовуваних для настройки сканера за допомогою штрих-коду;

- Підтримка рун - невеликих (11x11 модулів) штрих-кодів, що містять один байт інформації;

- Підтримка функціонального коду 1 (FNC1);

- Формат Aztec відкритий для загального користування.

Впровадження штрих-кодів Aztec:

- Ряд транспортних компаній, що здійснюють авіа- та залізничні перевезення, розміщують штрих-код Aztec на своїх квитках і посадочних талонах. Існують і повністю безпаперові схеми, коли квитком є штрих-код, який пасажир отримує через Інтернет, і виводить на екран свого мобільного телефону;

- Польські реєстраційні документи на автомобіль містять штрих-код Aztec;

- Банківські документи ряду банків містять штрих-код Aztec, що містить всю інформацію документа. Таким чином, при необхідності введення даних в деяку автоматизовану систему, оператор може просто сканувати штрих-код, а не набирати все дані на клавіатурі [2].

### **Data Matrix**

Data Matrix від фірми CiMatrix є двомірний код, розроблений для розміщення великого обсягу інформації на обмеженій площі поверхні. Був розроблений в 1991 році і описаний в міжнародному стандарті ISO/IEC 16022: 2006.

Штрихкод Data Matrix може зберігати від одного до 500 символів. Код може масштабуватися від 1-мм щільності до 14-дюймової площі. Це означає, що код Data Matrix має теоретичну максимальну щільність 500 мільйонів символів на дюйм. На практиці щільність, звичайно, обмежується роздільною здатністю друкуючих пристроїв і сканерів [3].

Дані, що кодуються розташовуються усередині прямокутного шаблону пошуку символіки, який являє собою L-подібний куточок і набір чергуються чорних і білих модулів по периметру символу. Алгоритми зчитування Data Matrix спочатку виявляють шаблон пошуку, а потім на підставі його здійснюють деко-

дування. Невеликі пошкодження або примикання до шаблону пошуку елементів, що не відносяться до штрих-коду призводять до неможливості декодування Data Matrix.

Data Matrix, як і інші 2D штрих-коди, має надлишкову структуру, що дозволяє декодувати дані при частковому пошкодженні символу. Істотний вплив на розробку стандарту символіки Data Matrix надав попередній йому багатостроковий штрих-код PDF-417. Структура кодування даних дуже схожа з PDF-417. Ці дві символіки дозволяють більш ефективно кодувати невеликого розміру цифрові послідовності ніж літеро-цифрові. Нижче по тексту порівняння стандарту Data Matrix буде проводиться з стандартом Aztec, тому що Aztec є новішим і продуманим 2D штрих-кодом, розробленим з урахуванням успіхів і невдач всіх попередніх символік [6].

Найсуттєвішою перевагою Data Matrix в порівнянні з іншими 2D штрих-кодами, які широко використовуються, є той факт, що Data Matrix дозволяє на мінімально можливій площі закодувати невеликі послідовності даних. Для порівняння, якщо необхідно закодувати 6 цифр, то Data Matrix штрих-код вийде розміром всього 10x10 модулів, а Aztec - 15x15 модулів. Перевага Data Matrix втрачається при збільшенні обсягу кодированої інформації до 72 цифр (розмір штрих-коду - 24x24 модуля). При розмірах символу 132x132 модуля в штрих-коді Data Matrix можливо розмістити 2608 цифр, в той час як в Aztec аналогічного розміру увійде майже 3000 цифр. На літеро-цифрових даних Data Matrix менш ефективний і вже на стрічках в 10 символів займає стільки ж площі скільки і Aztec. Виграш по площі при невеликих обсягах кодованих даних пояснюється тим, що в штрих-коді Data Matrix міститься дуже мало службової інформації, яка описує розміри і структуру даних штрихового коду, що негативно позначається на надійності зчитування Data Matrix. Програш Data Matrix при кодуванні великих обсягів даних пояснюється перш за все зростанням розміру шаблону пошуку символу, який збільшується прямо пропорційно периметру символу (у Aztec шаблон пошуку у великих штрих-кодів не змінюється).

Примітним є той факт, що стандарт Data Matrix допускає використання не тільки квадратних, а й прямокутних штрих-кодів, що в різних ситуаціях дозволяє більш ефективно використовувати доступну площу для розміщення символу. Стандарт Aztec для більш ефективного використання площі передбачає розбиття блоку даних на кілька символів штрих-коду з їх подальшою склеюванням. Стандарт Data Matrix так само дозволяє розбити блок даних між символами, а потім склеїти його після зчитування, але реалізація цієї склейки не настільки гнучка як в Aztec і, мабуть тому, практично не використовується.

Код має кілька інших цікавих особливостей. Оскільки інформація кодується абсолютною позицією елемента в середині коду, тобто позицією щодо меж коду, код не так чутливий до дефектів друку, як традиційний штрихкод. Схема кодування має високий рівень надмірності, дані розсосереджені в середині штрихкодowego символу. Це дозволяє зберігати можливість прочитання коду при його частковому пошкодженні або втраті частини коду. Кожен код має вимірні лінійки, які виглядають як суцільна лінія по одному краю символу і рівномірно розташовані квадратні точки однакового розміру по іншому краю. Ці лінійки використовуються для визначення орієнтації і щільності коду.

Існують два основних набору символів. Вони використовують згортове кодування для корекції помилок, яке використовувалося в перших версіях коду Datamatrix, ці версії описані як ECC-000 .. ECC-140. Другий набір описаний як ECC-200 і використовує метод корекції помилок за допомогою клада Ріда-Соломона (Reed-Solomon). Символи ECC-000 .. 140 завжди мають непарну кількість модулів по кожній стороні квадрата. Символи ECC-200 завжди містять парне число елементів з кожної зі сторін. Максимальна ємність символу ECC-200 становить 3116 цифр або 2335 букв в символі, що складається з 144 модулів.

Найбільш популярними застосуваннями для Datamatrix є маркування невеликих предметів, таких як електронні елементи і друковані плати електронних приладів. Ці додатки використовують здатність Datamatrix розмістити приблизно 50 символів в кодї розміром 3 мм і той факт, що код може бути прочитаний при 20-відсоткової контрастності друку.

Код читається ПЗС-камерою або ПЗС-сканером. Символи площею від 1/8 дюйма до 7 дюйма може бути прочитаний з відстані від контакту до 36 дймов. Звичайна швидкість читання складає 5 кодів в секунду.

Отже, основна перевага використання кодування Data Matrix - компактність при кодуванні невеликих обсягів інформації (до 10 символів). Ця перевага пояснює популярність символіки в таких сферах застосування як [3]:

- медична промисловість;
- поштові перевезення;
- електронна промисловість;
- автомобілебудування;
- харчова промисловість;
- авіакосмічна та оборонна промисловість;
- енергетичне машинобудування.

## QR Code

При розробці двомірного матричного штрих-коду фірми Denso особливу увагу було приділено швидкості зчитування / декодування. Представники компанії стверджують, що їм вдалося досягти на порядок вищого швидкодії - 30 етикеток в секунду (кожна ємністю 100 символів) проти максимум 3 етикеток в секунду (такий же ємності) в кодуванні Data Matrix або PDF417. Секрет полягає в застосуванні комбінованого методу: зчитування відбувається відразу в усіх напрямках, а прискорити процедуру декодування допомагають спеціальні детектори положення (вкладені квадрати, розташовані в трьох кутах етикетки). Завдяки цим піктограмам сканер легко і швидко розбирається як в розмірі коду, так і в орієнтації етикетки на площині [ 3].

Специфікація QR Code знаходиться в стані розвитку, але судити про основні характеристики коду можна, наприклад, за варіантом QR Code Model 2. Цей варіант припускає наступну максимальну ємність коду (в залежності від типу даних): 7089 цифр, 4296 букв і цифр, 2953 двійкових символів (8-бітних) або 1817 символів японської мови в кодуванні Kanji-Kana. Допускається кодування суміші даних різних типів. Дані в QR Code представляються сукупністю чорних і білих точок, кожна з яких трактується як одиниця даних, або модуль. Розмір коду варіюється від 21x21 до 177x177 модулів (крок збільшення кратний 4) [2].

Основна перевага QR-коду - це легке розпізнавання скануючим обладнанням, що дає можливість використання в торгівлі, виробництві, логістиці.





Існує чотири основних кодування QR-кодів:

- Цифрова: 10 біт на три цифри, до 7089 цифр.
- Алфавітно-цифрова: підтримуються 10 цифр, літери від A до Z і кілька спецсимволів. 11 біт на два символу, до 4296 символів
- байтовими: дані в будь-якої зручної кодуванні (за замовчуванням ISO 8859-1), до 2953 байт.
- Кандзі: 13 біт на ієрогліф, до 1817 ієрогліфів.

В таблиці 2 наведено порівняння чотирьох двовимірних штрихових кодів PDF417, DataMatrix, QR-код, Aztec Code.



Таблиця 2 - Порівняння найбільш популярних двовимірних штрихових кодів

Характеристика	PDF417	DataMatrix	QR-код	Aztec Code
				
Оптимізація для існуючих технологій друку	Прямокутна матриця	Зображення будується з стандартних квадратних пікселів	Зображення будується з стандартних квадратних пікселів	Зображення будується з стандартних квадратних пікселів
Нанесення на різні матеріали	Достатньо контрастного двукольорового зображення	Достатньо контрастного двукольорового зображення	Достатньо контрастного двукольорового зображення	Достатньо контрастного двукольорового зображення
Максимальний обсяг даних (при максимальному рівні корекції помилок)	2-3 Кбайт	2-3 Кбайт	2-3 Кбайт	2 кбайта
Максимальний розмір	151x151 пікселі	144x144 пікселі	177x177 пікселі	151x151 пікселі
Коди корекції помилок	9 рівнів корекції помилок Виправляється до 64% пошкоджень	Виправляється до 30% пошкоджень	Виправляється до 30% пошкоджень (фіксовані рівні в 7, 15, 25 и 30%)	Виправляється до 95% пошкоджень (рівень від 5% до 95%, стандартно 23%)
Стійкість просторового розпізнавання кода	Поворот на довільний кут	Поворот на довільний кут	Поворот на довільний кут, дзеркальне відображення	Поворот на довільний кут, дзеркальне відображення
Відкритість формату	Формат відкритий	Формат відкритий	Формат відкритий	Формат відкритий, хоча й захищений патентами переданий для вільного використання
Використання	Широке використання в документооберті, сфері транспорту, телекомунікацій	Широке використання, в тому числі в промисловості	Реклама та розваги, логотипи, що вміщують інформацію про фірму, візитівки, туризм, електронні квитки, маркування продуктів	Використовується в онлайн-квитках, багатьох авіа-та з/н компаній, а також в реєстраційних документах
Створення кодів	безкоштовно	безкоштовно	безкоштовно	безкоштовно
Считування коду автономно	так	так	так	так

### 3. Порівняльна оцінка завадостійких кодів, які використовуються для виправлення помилок при передачі інформації

Серед завадостійких кодів спробуємо обрати код, при використанні якого, підвищаться показники якості штрихового коду, а саме обсяг корисної інформації. При виборі коду, необхідно, щоб загальна кількість символів була приблизно однакова. Потім, порівнявши надмірності кодів з надмірністю коду Ріда-Соломона, а саме він використовується, як завадостійкий код при кодуванні інформації в усіх розглянутих двовимірних штрихових кодах, спробуємо визначити оптимальний завадостійкий код. Для порівняння використаємо циклічні коди, до яких належить код Ріда-Соломона, а саме код Файра та БЧХ. Довжину комбінації кодів БЧХ можна визначити так:

$$n = 2^h - 1 \text{ або } n = \frac{2^h - 1}{g} \quad (1)$$

де  $h > 0$  – ціле число;  $g$  – непарне додатне число, при діленні на яке  $n$  стає непарним числом. Таким чином, довжина  $n$  може мати тільки непарну кількість елементів.

Кількість перевірних елементів коду визначається виразом [7]:

$$r \leq \frac{h(d-1)}{2} = \left[ \log_2(n+1) \right] \frac{d-1}{2}, \quad (2)$$

А кількість інформаційних елементів:

$$k \geq \left( 2^h - 1 \right) - \frac{h(d-1)}{2} \text{ або } k = n - r, \quad (3)$$

Твірний поліном коду Файра визначається виразом

$$P_{\phi}(x) = P(x)(x^c + 1), \quad (4)$$

де  $P(x)$  – незвідний поліном степеня  $l$ , що належить  $h$ ;  $c$  – просте число, яке не повинно ділитися на  $h$  без остачі.

Поліном  $P(x)$  має деякий ступінь  $h$ , якщо  $h$  – найменше додатне число таке, що двочлен  $x^h + 1$  ділиться на  $P(x)$  без остачі. Для будь-якого існує принаймні один незвідний поліном  $P(x)$  степеня  $l$ , який належить числу

$$n = 2^l - 1 \quad (5)$$

Довжина коду Файра визначається виразом

$$n = \text{НСК}(c, h), \quad (6)$$

тобто є НСК чисел  $h$  та  $h$ , тому що тільки в цьому разі двочлен  $x^h + 1$  буде ділитися на поліном  $P(x)$  без остачі.

Кількість перевірних елементів цього коду визначається:

$$r = c + 1, \tag{7}$$

а інформаційних:

$$k = n - c - l, \tag{8}$$

Для коду Ріда Соломона поліном, що породжує, а також виправляє  $s$  помилок, повинен мати  $2s$  коренів:  $\{a^{j_0}, a^{j_0+1}, a^{j_0+2}, \dots, a^{j_0+2s-1}\}$ , де  $j_0$  – конструкторивний параметр. Як правило,  $j_0$  вибирають рівним 1. Тоді безліч коренів полінома приймає вигляд  $\{a, a^2, a^3, \dots, a^{2s}\}$ .

Для коду Ріда-Соломона, що виправляє  $s$  помилок, поліном, що породжує, має наступний вигляд:

$$RS(X) = (X - a)(X - a^2)(X - a^3) \dots (X - a^{2s}) \tag{9}$$

При такому уявленні поліном, що породжує, має безліч коренів  $\{a, a^2, a^3, \dots, a^{2s}\}$

Довжина кодової комбінації над полем  $GF(q)$ :

$$N = q - 1, \tag{10}$$

де  $q$  – основа (алфавіт) коду.

Кількість перевірних елементів цього коду визначається:

$$r = 2v_{\text{вп}} = n - k. \tag{11}$$

де  $v_{\text{вп}}$  – кількість виправлених помилок.

а інформаційних:

$$k = n - r. \tag{12}$$

Для порівняння кодів оберемо приблизно однакову довжину кодів комбінацій та обчислимо надмірність кодів при мінімальних кодових відстанях  $d = 5, 7, 11, 15$ .

Кращим буде той код, який має меншу кількість  $r$  надмірних елементів у блоці ( $r = n - k$ ), а тому й меншу надмірність  $R = r/n$ .

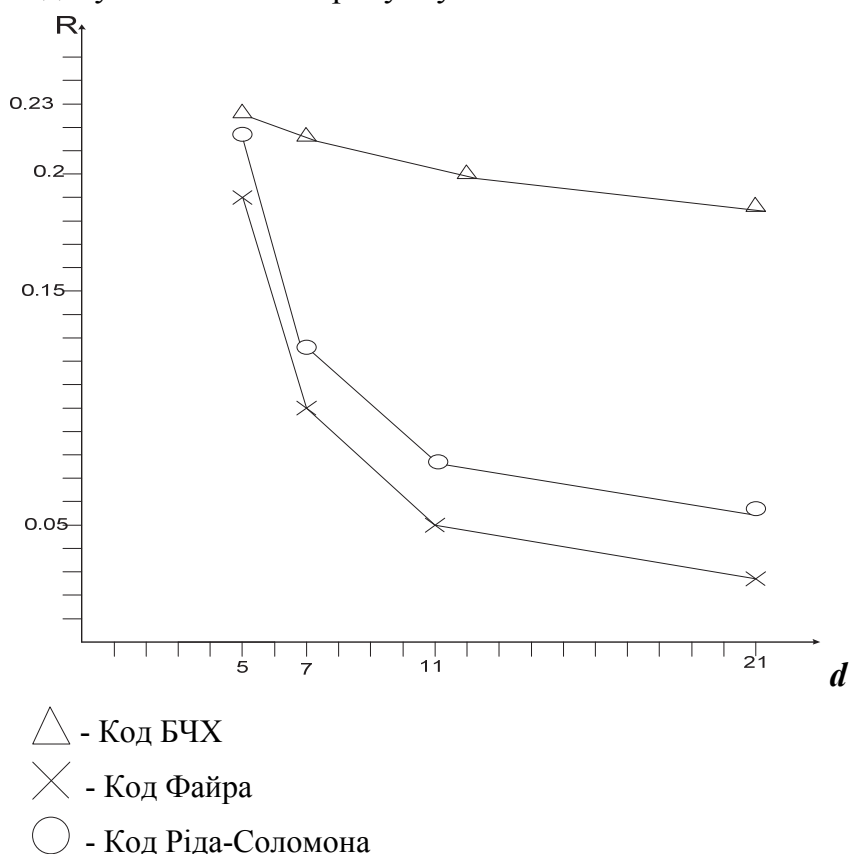
За допомогою програми визначимо надмірність для кодів БЧХ, Файра і Ріда-Соломона.

Отримані результати занесемо в таблицю 3.

Таблиця 3. –Залежність коефіцієнта надмірності коду від кодової відстані

Кодова відстань, d	Коефіцієнт надмірності, R		
	БЧХ	Файра	Ріда-Соломона
5	0,23	0,19	0,22
7	0,22	0,1	0,126
11	0,2	0,05	0,078
21	0,188	0,024	0,047

Зобразимо дану залежність на рисунку 3:



**Рис. 3.** Залежність коефіцієнта надмірності коду від кодової відстані

Проаналізувавши отримані дані можна зробити висновок, що найменший коефіцієнт надмірності має код Файра, адже цей код коротший від коду БЧХ та коду Ріда-Соломона. Таким чином найменшу надмірність повідомлення забезпечить код Файра. Це дасть можливість записати більшу кількість інформації користувача, майже при такій ж ступені корекції помилок, як й при використанні коду Ріда-Соломона.

### Висновки

1. В роботі наведено особливості класифікації, структури, та застосування штрихових кодів.
2. Розглянуто основні відмінності лінійних та двовимірних штрихових кодів, Наведено особливості застосування та перспективи подальшого розвитку тривимірних та чотиривимірних кодів.
3. Проведено аналіз та порівняння найбільш розповсюджених двовимірних штрихових кодів таких як: PDF 417, Aztec Code, Data Matrix, QR-код. Можливо використання штрихового кодування з іншими завадостійкими кодами для запобігання

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 2' (33) 2018  
виникнення помилок при зчитуванні наприклад, код Файра, який забезпечує майже  
такій ж ступені корекції помилок, як й при використанні коду Ріда-Соломона, але  
дасть можливість записати більшу кількість інформації користувача.

### Список використаних джерел

1. Жураковський Б.Ю. Сфери застосування двовимірних штрихових кодів / Жураковський Б.Ю., Довженко Н.М. // Системи управління, навігації та зв'язку № 2(38), 2016. – С.83-87.
2. Жураковський Б.Ю. Особливості застосування QR-кодування в телекомунікаційній мережі України / Жураковський Б.Ю., Довженко Н.М. // Науково-технічна конференція «Актуальні проблеми розвитку науки і техніки», ДУТ, м. Київ. – 22.10.2015. с. 18-21.
3. QR-код та Data Matrix [електронний ресурс]. – режим доступу до матеріалів статті: <https://mybiblioteka.su/tom2/3-80575.html>
4. Виды и типы штрихкодов [електронний ресурс]. – режим доступу до матеріалів статті: [https://kkm74.ru/articles/vidy\\_i\\_tipy\\_shtrih\\_kodov/](https://kkm74.ru/articles/vidy_i_tipy_shtrih_kodov/).
5. Жураковський Б.Ю. Порівняльний аналіз формування та застосування двовимірних штрих-кодів для передачі даних / Жураковський Б.Ю., Довженко Н.М. // Системи управління, навігації та зв'язку № 2(34), 2015. – С.68-70.
6. Астафьева Е. История появления и развития популярных 2D штрихкодов [електронний ресурс]. – режим доступу до матеріалів статті: <https://idexpert.ru/reviews/13658/>
7. Жураковський Б.Ю. Використання методів адаптивного кодування для каналів з параметрами, що змінюються / Жураковський Б.Ю. // Вісник ДУІКТ № 5(2), 2007. – С.199-202.

## **АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ГРАФІТУВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ВИРОБІВ**

*Анотація:* Виробництво вуглецевих виробів є енергоємним процесом, який широко використовується у рідних галузях промисловості. У даній роботі розроблено алгоритм керування процесом графітування, який за рахунок інтенсифікації процесу дозволяє досягти його мінімальної тривалості при умові забезпечення заданого ступеня графітування готової продукції.

*Ключові слова:* Вуглецеві вироби, керування, алгоритм, графітування, імітаційне моделювання, печі Ачесона, схема-алгоритм.

### **Вступ**

У народному господарстві України виробництво вуглецевих виробів відіграє важливу роль, оскільки продукція даного виробництва широко використовується в різних визначальних для країни галузях промисловості, технологічні процеси яких нерозривно пов'язані з необхідністю використання електротермічних процесів. Зокрема, до таких виробництв відносяться підприємства чорної та кольорової металургії, машинобудування, хімічної промисловості та інші [1].

Виробництво вуглецевих виробів є у значній мірі ресурсо- та енергозатратним [2–4]. Саме тому задача підвищення ефективності даного виробництва є актуальною науково-технічною задачею особливо в сучасних умовах постійного зростання вартості енергоносіїв.

Сучасні світові тенденції розвитку чорної та кольорової металургії, машинобудування, хімічної промисловості та інших галузей промисловості обумовлюють постійне нарощування обсягів виробництва графітованих вуглецевих виробів. Графіт широко використовується як футеровочний матеріал в доменних та феросплавних печах, атомній промисловості, є незамінним в електротермії. Значним споживачем графітованих виробів є алюмінієве виробництво.

Виробництво графітованої продукції складне, багатостадійне та дуже енергоємне. При цьому на заключну стадію – процес графітування – припадає до 80% загальних енерговитрат, що становить 8-10 МВт-годин на 1 тону продукції. Тому задача підвищення ефективності процесу графітування у виробництві вуглецевих виробів є актуальною науково-технічною задачею особливо в сучасних умовах постійного зростання вартості енергоносіїв.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Непродуктивні витрати теплоти у процесі графітування вуглецевих виробів тим менші, чим швидше відбувається розігрів керна печі (більша частка енергії витрачається на нагрівання виробів) [2]. Усі відомі способи керування піччю графітування у тій чи іншій формі реалізують ідею прискореного підведення потужності (а, отже, і розігріву керна печі) при гарантованому забезпеченні цілісності виробів.

Існуючі промислові системи керування процесом графітування у печах Ачесона здебільшого належать до категорії людино-машинних (автоматизованих) і найчастіше реалізують метод керування за електротехнічними параметрами [5]. Даний спосіб оснований на припущенні, що температура керна знаходиться в прямій залежності від кількості енергії, підведеної до печі [2].

Керування процесом здійснюють за заздалегідь розробленим регламентом, що включає початкову потужність печі, графік погодинного нарощування потужності та питомі витрати енергії для визначення моменту припинення кампанії графітування. Додатково практикують вимірювання температури периферії керна для уточнення моменту припинення кампанії графітування.

Регламент графітування вуглецевої продукції кожного типу розробляють експериментально на основі тривалої практики або розраховують приблизно за допомогою математичної моделі температурного поля для кожної окремої конструкції печі графітування. При цьому береться до уваги той факт, що скорочення тривалості кампанії означає зменшення тепловтрат та підвищення ефективності процесу графітування, але пришвидшення розігріву керна збільшує нерівномірність температурного поля в об'ємі заготовок, що збільшує термонапруження [6].

Швидкість розігріву обмежують так, щоб за відсутності достовірної інформації про температурний стан керна, унеможливити руйнування виробів (внаслідок термонапружень) при будь-яких збурювальних впливах. Тому спосіб часто призводить до значних перевитратам електроенергії, а при змушених простоях відсутні надійні рекомендації щодо продовження процесу.

Керування процесом графітування шляхом зміни напруги печі в залежності від кількості підведеної енергії можна доповнювати зміною режиму охолодження футеровки – керування за температурою футеровки. Для цього необхідно організувати визначення температури футеровки впродовж кампанії [7].

Автори [8] вважають, що крива активного опору пічного контуру повністю відображує основні процес в печі і її стала ділянка відповідає досягненню максимальних температур в керні, що дає змогу визначати час припинення підведення потужності до печі. На підставі цього у [9] запропоновано спосіб керування процесом графітування та визначення моменту закінчення кампанії за

характером зміни та досягнутим кінцевим значенням омічного опору печі. Крім визначення моменту припинення кампанії графітування, тут пропонується визначати середню температуру керна як величину, обернено пропорційну омічному опору. Спосіб використовується в області високих температур (вище 1100°C) де опір печі, на думку авторів, змінюється за логарифмічним законом.

Ці способи прості в застосовуванні, але мають надзвичайно низьку точність, оскільки крива опору печі переважно характеризує процеси в пересипці (опір об'єму пересипки значно переважає опір вуглецевих заготовок). Крім того, використання узагальнених показників знижує якість керування і потенційно здатне призвести як до перевитрат електроенергії, так і до руйнування виробів.

У праці [5] запропонований алгоритм керування процесом графітування та закінчення кампанії за величиною ступеня графітування у характерній точці простору печі. Дана величина розраховується за математичною моделлю, яка являє собою систему диференціальних рівнянь у частинних похідних. Розв'язок такої математичної моделі потребує значного часу навіть для сучасних обчислювальних засобів. Ця обставина суттєво обмежує застосування даного методу у системах керування реального часу. Крім того, визначення розташування характерної точки є суб'єктивним, що може позначитися на кінцевих результатах графітування.

### **Постановка задачі дослідження**

Графітування вуглецевих виробів, до яких відносяться електроди дугових сталеплавильних печей, подові блоки алюмінієвих електролізерів тощо, як правило, здійснюється в електричних печах опору по технології Ачесона. Печі Ачесона характеризуються істотною нерівномірністю розподілу температурного поля та нестабільністю електро- та теплофізичних властивостей матеріалів завантаження. При швидкому нагріванні печі збільшується нерівномірність температурного поля і, як наслідок, зростає термонапруження у виробках, що може призвести до браку продукції. У виробничих умовах з метою запобігання випуску бракованої продукції здійснюється опосередковане оцінювання термопружного стану виробів, що призводить до перевитрат електроенергії, а значить, до зниження ефективності виробництва.

Ще одним чинником перевитрат енергоресурсів є неточне визначення тривалості кампанії графітування, яка для гарантованого забезпечення нормативної якості готової продукції, як правило, триває довше, ніж потрібно.

Важливим показником ефективності виробництва вуглецевих виробів є якість кінцевої продукції, яка визначається державним стандартом України [10]. Згідно стандарту електроди повинні мати високу теплопровідність та малий



коефіцієнт температурного розширення, щоб уникнути руйнування електродної свічі внаслідок температурних напружень. Крім того, електроди сталеплавильних печей зазнають значних механічних навантажень, спрямованих під кутом до їх осі, що робить механічну міцність на вигин та розтяг надзвичайно важливим показником якості. В залежності від типу продукції до показників якості відносять питомий електричний опір електродів, оскільки витрати останніх у сталеплавильних печах мають лінійну залежність від цього показника [5, 6]. Інтегральним показником якості графітованої продукції є ступінь графітування [5].

Названі вище обставини викликають необхідність з метою підвищення ефективності процесу графітування вуглецевих виробів розроблення сучасної системи оптимального керування ним на основі аналізу поточного стану технологічного процесу. Така система керування повинна забезпечувати випуск готової продукції заданої якості при функціонування процесу графітування у режимі ресурсо- та енергозбереження з урахуванням можливих непередбачуваних відключень енергоживлення. Розв'язання цієї задачі і є метою даної статті.

### **Формування задачі керування**

У статті [11] показано, що, враховуючи ту обставину, що процес графітування є завершальним у виробництві вуглецевих виробів, то як критерії економічної ефективності функціонування даного процесу доцільно вибрати прибуток від реалізації готової продукції.

Як відомо [12, 13], даний показник має дві складові – продажну вартість та економічні витрати виробництва. Перша складова залежить від ринкової ситуації і не пов'язана з технологічним процесом графітування безпосередньо.

Для збільшення прибутку треба зменшувати другу складову – затрати на виробництво.

Як свідчать експериментальні дослідження [5, 14], які підтверджуються даними літературних джерел [1, 4, 6, 15], найбільш ефективним способом зменшення витрат на процес графітування є скорочення кампанії графітування шляхом її інтенсифікації [5, 16]. При інтенсивному розігріванні заготовок, що графітуються, зменшуються втрати в оточуюче середовище і відповідно збільшується доля акумульованої теплоти, що йде на графітування.

Зменшення непродуктивних витрат акумульованої енергії, тобто витрат, які фактично потрібні для утворення графітованих виробів заданої якості, також скорочує тривалість кампанії графітування.

З урахуванням наведеного вище можна стверджувати, що мінімізація тривалості кампанії графітування при умові забезпечення заданих показників якості графітованих виробів одночасно забезпечить максимізацію прибутку виробництва.

Інтегральним показником якості графітованих виробів є ступінь графітування. Отже, задача оптимального керування процесом графітування вуглецевих виробів формулюється таким чином: за рахунок інтенсифікації процесу досягти його мінімальної тривалості при умові забезпечення заданого ступеня графітування готової продукції.

Пропонується наступний алгоритм керування, схема-алгоритм якого показана на рис.1.

Блок 1 формує початкові дані. До них відносяться: стартові струм та напруга печі графітування  $I(0)$  та  $U(0)$  відповідно (задається технологічним регламентом), початкові значення температур  $T(0)$  у характерних точках в режимі нагрівання (фактично температура оточуючого середовища), початкова величина ступеня графітування  $\beta=0$ , початкове значення кроку розрахунку (дискретного часу)  $k=0$ .

У сучасних умовах доволі часто відбувається непередбачуване відключення електричного живлення печі графітування. Тому перевіряють чи працює піч у штатному режимі (блок 2 – «Ні»), тобто коли електричне живлення подається.

У штатному режимі роботи печі весь процес графітування можна умовно поділити на 2 етапи – нагрівання та охолодження. Після включення печі у роботу у штатному режимі у блоці 3 за допомогою математичної моделі нагрівання розраховують температуру у характерних точках у наступний момент часу  $k+1$ . До характерних точок відносяться точки всередині заготовки, які розташовані: у торці печі та верхньому ряді периферії на кінці та по центру заготовки (точки з максимальним перепадом температур), у торці печі та нижньому ряді периферії (точки з мінімальною температурою).

У блоці 4 перевіряють чи розпочався власне процес графітування (блок 4 – «Так») та розраховують ступінь графітування у блоці 5 за формулою:

$$\beta = e^{-B(T)\tau}.$$

Блоки 6 ... 12 призначені для розрахунку часу, що залишився до оптимального моменту закінчення процесу графітування  $\Delta t_{зуп}$ . У блоці 6 виконуються потрібні переприсвоєння. Блок 7 за математичною моделлю охолодження розраховує температуру  $T(m+1)$  у характерній точці режиму охолодження. Характерні точки для режиму охолодження це найхолодніші точки: у торцевих заготовках та на периферії нижнього ряду. У блоці 8 визначається ступінь графітування  $\beta(m+1)$ . Блок 9 перевіряє чи досягли потрібного ступеня графітування  $\beta_{зад}$ . Якщо так (блок 9 – «так»), то блоком 11 розраховується скільки часу  $\Delta t_{зуп}$  залишилося до оптимальної зупинки процесу графітування за формулою

$$\Delta t_{зуп} = (m-k)\Delta\tau,$$

де  $\Delta\tau$  – час дискретності розрахунків.

Виконання умови  $\Delta t_{зуп} \leq 0$  (блок 12 – «Так») означає, що процес графітування закінчено і робота алгоритму зупиняється.

Далі для визначення максимально допустимої потужності, що подається на піч, блоком 13 перевіряється умова, чи не перевищує максимальний перепад температур у характерній заготовці допустимі межі. Якщо перепад температур допустимий (блок 13 – «Так»), перевіряється чи досягнуто з точки зору безпеки ведення процесу графітування максимально допустимого значення струму  $I_{max}$ . Якщо це значення не перевищене (блок 14 – «Ні»), збільшується напруга наперед задану величину  $\Delta U$  (блок 15) і здійснюється перехід до блоку 3.

Якщо розрахований перепад температур у характерній заготовці перевищує допустиме значення (блок 13 – «Ні»), або електричний струм досяг свого максимально допустимого значення (блок 14 – «Так»), блоком 16 визначається зменшена на величину  $\Delta U$  напруга, блок 17 виконує потрібні переприсвоєння і з переходом до блоку 2 починається новий цикл роботи алгоритму.

Коли має місце аварійне відключення електроживлення печі (блок 2 – «Так») і цей період перевищує 20 хвилин, починається режим охолодження [5]. У цьому режимі у блоці 18 на основі математичної моделі охолодження розраховують температуру заготовок  $T(k+1)$  у характерній точці. На етапі охолодження характерні точки розташовані на поверхні заготовок, які охолоджуються найшвидше (по торцям печі та нижній ряд периферії) та мають найбільший перепад температур (центральні заготовки верхнього ряду).

Якщо температура найбільш холодних заготовок перевищує 2000 °С, це означає, що процес графітування продовжується (блок 19 – «Так»), якщо ні, то здійснюють перехід до блоку 17. У разі, коли процес графітування після аварійного відключення електроживлення (блок 19 – «Так») продовжується, визначають поточний ступінь графітування (блок 20), перевіряють чи розраховане значення відповідає заданому (блок 21). Якщо досягнуто потрібного ступеня графітування  $\beta_{зад}$  (блок 21 – «Так»), то відновлення електроживлення не потрібно і робота алгоритму закінчується.

Якщо температура заготовок у характерній точці стала меншою за температуру початку графітування (блок 19 – «Ні»), то здійснюється перехід до блоку 17, в якому виконується підготовка до наступного кроку розрахунків.

Для перевірки ефективності запропонованого алгоритму було проведено імітаційне моделювання однієї кампанії графітування. Для порівняння з реальним процесом графітування були використані дані, наведені у [5].

На рис. 2 представлені графіки підведення потужності електричного струму на піч графітування: 1 – реальна кампанія; 2 – результат роботи запропонованого алгоритму керування. Під час проведення кампанії двічі вимикалося електроживлення. Сумарний простій у цій кампанії склав 7 год. 40 хв.

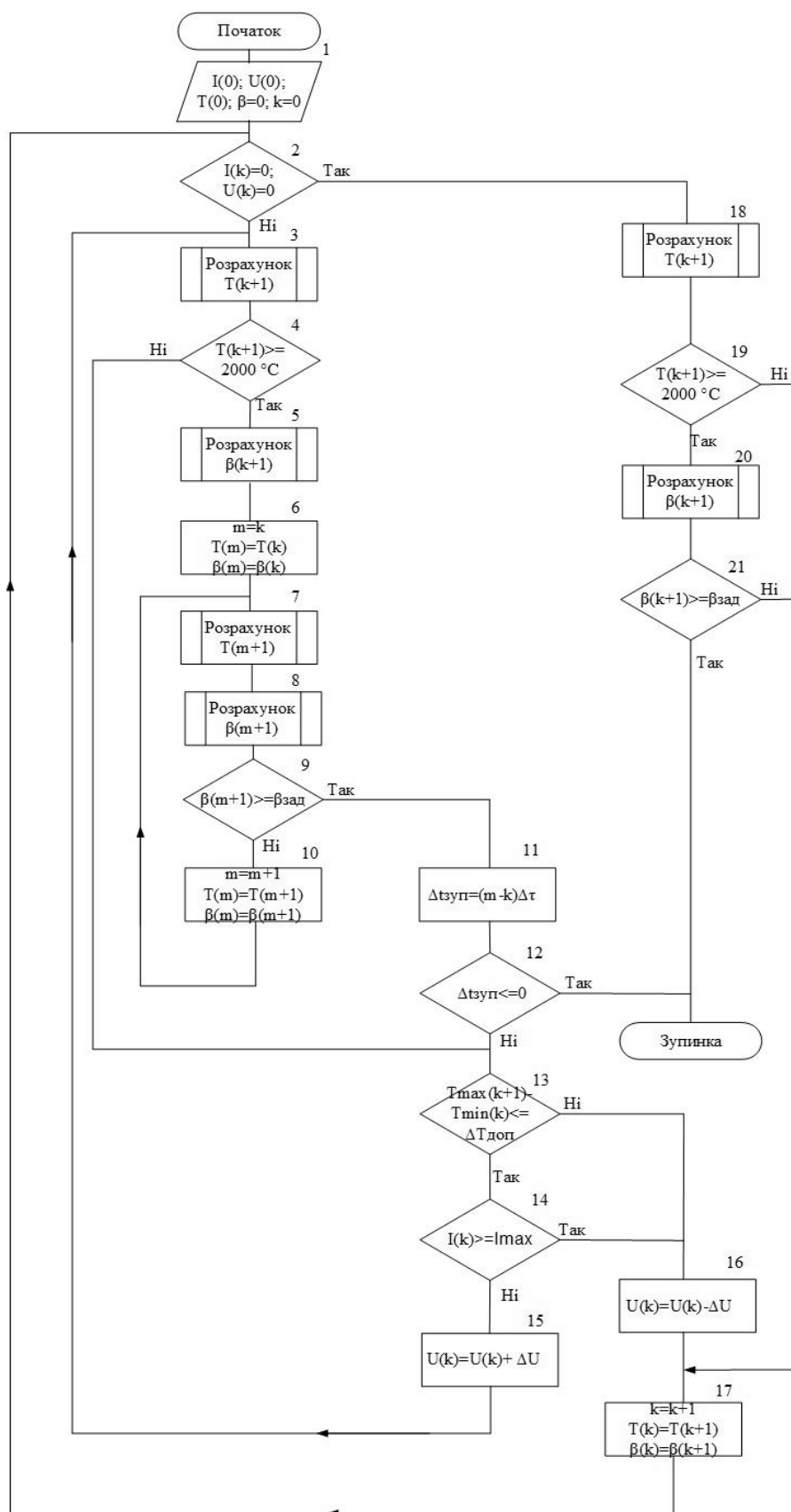
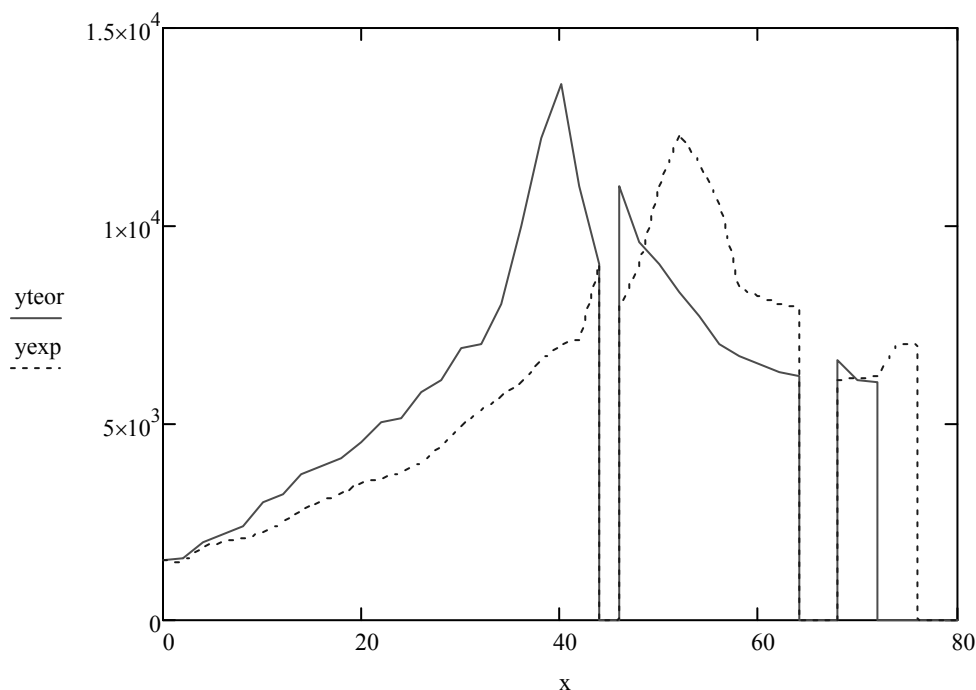


Рис. 1. Структурна схема алгоритму керування процесом графітування



**Рис. 2.** Графік підведення потужності електричного струму на піч графітування

Показники фактичної та розрахункової кампанії графітування наведені у табл. 1.

*Таблиця 1.* Техніко-економічні показники кампанії графітування

Показники	Фактична	Розрахункова
Корисна маса завантаження	70,5 т	70,5 т
Загальний простій	7 год. 40 хв.	7 год. 40 хв.
Планова витрата енергії	408900 кВт/год	408900 кВт/год
Фактична витрата енергії	427900 кВт/год	417628 кВт/год
Питома витрата енергії	6069,5 кВт/год	5923,8 кВт/год
Тривалість кампанії	78 год. 20 хв.	71 год. 10 хв.

Порівняння даних представлених у табл. 1, свідчить про ефективність запропонованого алгоритму графітування вуглецевих виробів.

### Висновки

Запропонований алгоритм керування процесом графітування у виробництві вуглецевих виробів. Даний алгоритм дозволяє визначити мінімальну тривалість технологічного процесу при умові досягнення заданих показників якості готової продукції, що забезпечує функціонування виробництва у режимі ресурсо- та енергозбереження.

Проведено імітаційне моделювання запропонованого алгоритму керування. Порівняння результатів моделювання з даними реальної кампанії графітування свідчить про високу ефективність запропонованого алгоритму керування.

Даний алгоритм передбачає використання математичної моделі процесу графітування. Існуючі математичні моделі являють собою систему нелінійних нестационарних диференціальних рівнянь у частинних похідних. Розв'язання такої системи рівнянь потребує значного часу навіть сучасними засобами обчислювальної техніки. Тому для використання запропонованого алгоритму у системі керування процесом графітування реального часу потрібно розробити спрощену математичну модель. Дана задача і є предметом подальших досліджень.

### Список використаних джерел

1. Санников А.К., Сомов А.Б., Ключников В.В. Производство электродной продукции. М.: Металлургия, 1985. 129 с.
2. Rand B., Appleyard S.P., M. Yardim F. Design and Control of Structure of Advanced Carbon Materials for Enhanced Performance. Springer Science & Business Media, 2012. 347 p.
3. Savage G. Carbon-carbon composites, Chapman and Hall, 1993. 401 p.
4. Inagaki M., Meyer R.A. Chemistry and Physics of Carbon, Vol. 31 ed. New York, 1999, 149 p.
5. Коржик М.В. Математичне моделювання та автоматизоване керування процесом графітації в печах Ачесона: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07. Київ, 2010. 230 с.
6. Чичулин Н.И. О режимах графитации электродных изделий: сб. научн. тр. Совершенствование технологии и улучшение качества электродной продукции. Вып. 5. 1973. С. 114–121.
7. Самохин И.Н., Розенман И.М., Сасс-Тисовский В.Б. Опыт эксплуатации печей с принудительным охлаждением стен и подины при повышенной плотности тока в керне для производства конструкционного графита: сб. научн. тр. Вопросы графитации углеродистых материалов. 1968. С. 70–78.
8. Знамеровский В.Ю., Яшкина В.В. Исследование режимов ввода энергии в печи графитации. Промышленная энергетика. № 11. 1985. С. 40–42.
9. Erwin D.L. Industrial Chemical Process Design. New York. 2002. 579 p.
10. ДСТУ 4494:2005 Електроди зграфітовані та ніпелі до них. Загальні технічні умови. Зі зміною № 1 (IEC 60239:1997, NEQ)
11. Жученко О.А. Statement of the optimization problem of carbon products production. Міжнародний науково-виробничий журнал «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів» Vol. 8, issue 2. 2016. С. 39-44
12. W. Forst, D. Hoffmann. Optimization—Theory and Practice. Springer-Verlag New York. XVIII, 402 p.

13. M. Al-Baali, L. Grandinetti, A.Purnama. Numerical Analysis and Optimization. Springer International Publishing. XVIII, 2018, 272 p.

14. Яримбаш Д.С. Системи живлення та режими потужних технологічних комплексів електропечей опору прямого нагріву: дис. ... докт. техн. наук: 05.09.03. Кременчуг, 2015.

15. Соседов В.П., Сасс В.Б. Тисовский А.С., О рациональном графике подъема мощности и температуры апроцессе графитации. Цветные металлы. № 2. 1967. С. 62–63.

Карвацький А.Я. Теоретичні та експериментальні дослідження теплоелектричного та механічного стану високотемпературних агрегатів : моног. / А.Я. Карвацький, Є.М. Панов, С.В. Кутузов [та інш.]. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 352 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ДЕСЯТИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ НАПРУГИ І ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

*Анотація:* У статті проведено аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель дванадцятипульсного напівпровідникового перетворювача з десятизонним регулюванням вихідної напруги для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси у електричних колах.

*Ключові слова:* напівпровідниковий перетворювач, десятизонне регулювання напруги, електромагнітні процеси.

### Вступ

Перетворення електричної енергії, дозволяє використовувати в перетворювальних установках ланку високої частоти з частотою переключення вентилів значно більшої від частоти змінної напруги промислової мережі [1-4]. У роботах [1-4] показана доцільність використання структур перетворювачів частоти (ПЧ) з однократною модуляцією при побудові систем вторинного електропостачання для комплексів діагностики електромеханічних пристроїв із різноманітним видом вхідної енергії. У даній роботі проводиться аналіз структури ПЧ для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги при десятизонному керуванні. Широке використання напівпровідникових перетворювачів у електричних колах сучасних перетворювачів параметрів електроенергії значно ускладнюються задачі аналізу електромагнітних процесів. Найбільші ускладнення виникають при необхідності моделювання усталених і перехідних процесів у розгалужених колах змінної структури, в ланках з реактивними елементами якої виникають синусоїдні, постійні та імпульсні напруги. У даній роботі проводиться аналіз аспекту використання тієї ж структури напівпровідникових перетворювачів (НПП) в якості ланки високої частоти, що стосується побудови й аналізу перетворювачів для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) постійної напруги при десятизонному керуванні.

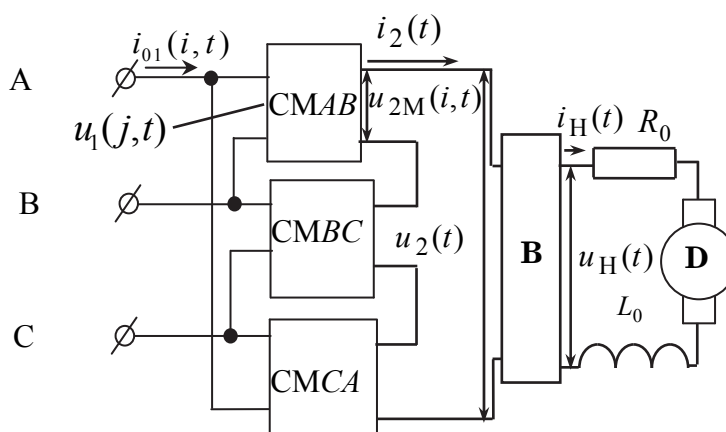
**Метою роботи** є створення математичної моделі напівпровідниковими перетворювачами з електромеханічним навантаженням вихідної напруги.



**Аналіз електромагнітних процесів**

У даній роботі використано метод багатопараметричних модулюючих функцій [2], який передбачає попереднє представлення алгоритмічного рівняння перетворювача. При цьому прийнято такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди інвертора випрямленої напруги (ІВН) представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори в кожній з зон регулювання вихідної напруги не мають втрат, а навантаження перетворювача має еквівалентний активно-індуктивний характер.

Узагальнена структурна схема перетворювача показана на рисунку. 1. На структурній схемі позначені: *СМАВ*, *СМВС*, *СМСА* – силові модулятори (СМ) лінійних АВ, ВС і СА відповідно, *ВВ* – високочастотний випрямляч, *Д* – двигун постійного струму. Сукупність СМ, підключених до енергетичної мережі паралельно і з'єднаних по виходу послідовно, представляє собою ланку високої частоти перетворювача. Кожний з блоків СМ має у своєму складі випрямлячі та інвертори, навантажених на узгоджувальні трансформатори.



**Рис. 1.** Структурна схема перетворювача

Таким чином кожен СМ має в своєму складі  $N$  ІВН, де  $N$  – це число інверторів. Створення математичної моделі перетворювача передбачає розробку математичного забезпечення, спроможного провести аналіз відносно енергії, яка генерується, з урахуванням навантаження, енергії, яка споживається, а також енергії, яка перетворюється в окремих ланках і в окремими елементами.

Дослідження техніко-економічних показників різного виду виконавчих елементів слідкуючих систем на основі високомоментних двигунів постійного струму (ДПС) серій 2П та ПВ і трифазних асинхронних двигунів серії 4А, які випускаються промисловістю серійно [4], показують, що за умови однакових показників за масою та габаритами в діапазоні потужностей від 100 Вт до 500 кВт, у слідкуючих системах доцільніше використовувати ДПС.

У роботі прийняті такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди інверторів випрямленої напруги (ІВН) представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори в кожній з зон регулювання вихідної напруги не мають втрат.

Проведення системного аналізу електромагнітних процесів у модуляційному НПП з багатозонним регулюванням вихідної напруги з навантаженням у вигляді ДПС з послідовним збудженням, з урахуванням таких ознак системного підходу до аналізу [4], як цілісність та вплив під час її руху зовнішніх і внутрішніх факторів.

Напругу на навантаженні НПП знаходимо з виразу виду

$$u_H(t) = \frac{1}{k_T} i_{H_k}(t) \sum_{j=1}^3 \sum_{n=1}^{N=10} u_1(t) \psi_B(j,t) \psi(n,N,t) \psi_{BB}(t), \quad (1)$$

де  $u_1(j,t)$  – миттєві значення лінійних напруг мережі,  $\psi_B(j,t)$  – функції прямокутного синуса, що співпадають за часом з положенням відповідних лінійних напруг,  $n = 1, 2, \dots, N=10$  – номери зон регулювання;  $\psi(n,N,t)$  – множина еквівалентних модулюючих впливів  $j$ -х інверторів СМ;  $\psi_{BB}(t)$  – функція прямокутного синуса, що співпадає за часом з положенням напруги  $u_2(t)$ ;  $k_T$  – коефіцієнт трансформації.

ДПС, що задає вихідний струм НПП, описується системою алгебраїчних рівнянь [4]

$$\begin{pmatrix} i_{H_{k+1}}(t) \\ n_{k+1}(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_{H_k}(t) + \frac{2(c(t) - \varepsilon_{ch})}{a_1} - \frac{2\varepsilon_a}{a_1} i_{H_k}(t) - \frac{2}{a_1} n_k(t) i_{H_k}(t) - \frac{2}{a_1 a_3} i_{H_k}^3(t) \\ n_k(t) + \frac{4(c(t) - \varepsilon_{ch}) i_{H_k}(t)}{a_1 a_3} - \frac{2\varepsilon_M}{a_3} n_k(t) + \frac{2}{a_3} i_{H_k}^2(t) - \frac{2}{a_1 a_3} i_{H_k}^3(t) n_k(t) - \frac{2\varepsilon_{M0}}{a_3} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де:  $i_{H_k}(t)$ ,  $i_{H_{k+1}}(t)$ ,  $n_k(t)$ ,  $n_{k+1}(t)$  – струм якоря та кутова швидкість обертання ДПС на  $k$ -ому та в  $k+1$ -ому інтервалі відповідно;  $\varepsilon_{ch}$ ,  $\varepsilon_a$  – відносні падіння напруги на щітках і обмотці якоря;  $\varepsilon_M$ ,  $\varepsilon_{M0}$  – відносні моменти опору на валу;  $c(t) = \frac{u_H(t)}{E}$  –

відносне значення напруги на якорі;  $u_H(t)$  та  $E$  – відповідно миттєві значення вихідної напруги НПП та проти ЕРС;  $a_1 = \varepsilon_a + \frac{2T_{ab}}{\Delta t}$ ,  $a_3 = \varepsilon_M + \frac{2T_M}{\Delta t}$ ;  $T_{ab}$  та  $T_M$  – еле-

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 2' (33) 2018  
 ктромагнітна та механічна постійні часу двигуна,  $\Delta t$  – інтервали часу, за якими проводяться розрахунки.

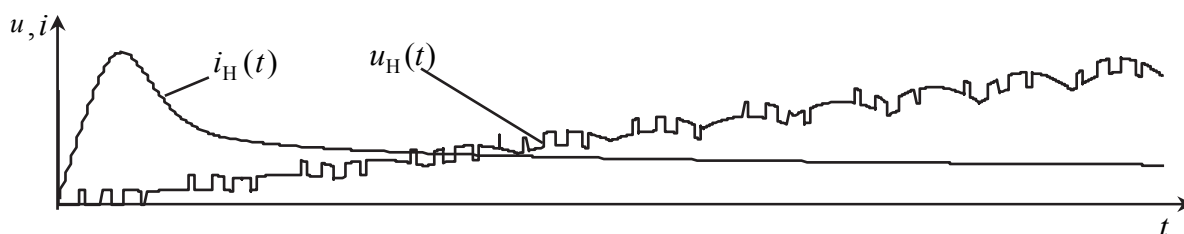
Система (2) вирішується за допомогою методу припасовування з попереднім записом початкових умов при  $t = 0$  та припущеннями відносно лінійної залежності моменту опору на валу двигуна від швидкості обертання [3]. Діаграми струмів кола якоря ДПС для випадку десятизонного регулювання вихідної напруги НПП наведені на рис. 2.

Вихідний струм знаходимо з співвідношення

$$i_2(t) = i_{H_k}(t) \psi_{BB}(t). \quad (3)$$

Вхідні струми  $i_1(n, j, t)$  знаходимо з виразу

$$i_1(n, j, t) = \frac{i_2(t) \psi_B(j, t) \psi(n, N, t)}{k_T}, \quad (4)$$



**Рис. 2.** Діаграми струму та напруги навантаження

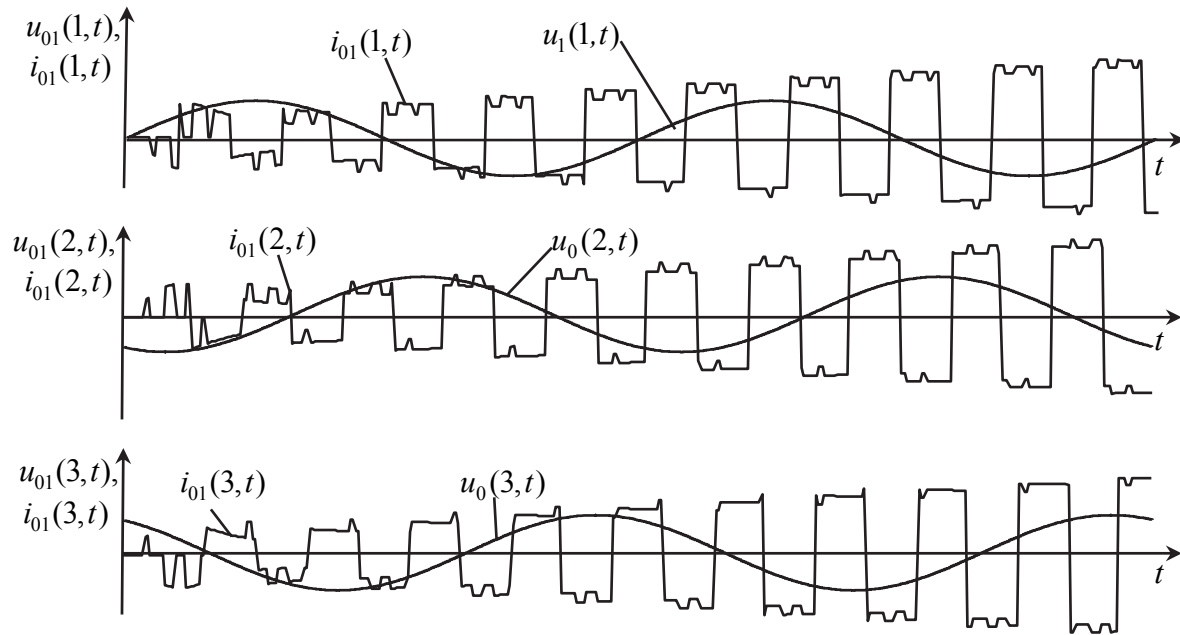
Лінійні струми  $i_1(j, t)$  знаходимо з виразу виду

$$i_1(j, t) = \frac{\sum_{n=1}^{N=10} i_H(t) \psi_{B2}(j, t) \psi_2(j, t) v_2(t)}{k_T}. \quad (5)$$

Вхідні фазні струми  $i_{02}(i, t)$  знаходимо з співвідношень

$$i_{01}(1, t) = i_1(1, t) - i_1(3, t); \quad i_{01}(2, t) = i_1(2, t) - i_1(1, t); \quad i_{01}(3, t) = i_1(3, t) - i_1(2, t). \quad (6)$$

Діаграми вхідних фазних струмів перетворювача в координатах напруг енергетичної мережі, побудовані за (6), представлені на рисунку 3.



**Рис. 3.** Діаграми вхідних струмів  $i$ -х фаз мережі в координатах фазних напруг

### Висновки

У данні роботі було виконано аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими перетворювачами. Використовуючи метод багатопараметричних модулюючих функцій було знайдено струм і напругу навантаження, а також вхідні струми перетворювача. У роботі розвинуто метод багатопараметричних функцій в частині розробки нової математичної моделі з багатозонним регулюванням вихідної напруги і електромеханічним навантаженням та визначення модулюючих функцій для аналізу за підсистемними складовими структури електричних кіл з напівпровідниковими комутаторами.

Також формалізовано можна визначати алгоритми управління комутаторами в колах силових модуляторів фазних і лінійних напруг трифазної мережі електроживлення, що спрощує підвищення якості знакопостійних напруг у процесі формування та багатозонного регулювання вихідних синусоїдних і знакопостійних напруг. Використання багатопараметричних модулюючих функцій в математичних моделях електромагнітних процесів у електричних колах з напівпровідниковими комутаторами дозволяє формалізовано визначати струми в колах інверторів та інших напівпровідникових ланок кожного із силових модулів випрямлених напруг.

### Список використаних джерел

1. Макаренко М.П. Математична модель перетворювача трифазної напруги в постійну напругу / М.П. Макаренко, В.В. Михайленко // *Електроника и связь*. – 2002. – № 14. – С. 73–75.
2. Патент 20985. України. МПК H02M 1/02. Модулятор випрямленої напруги / М.П. Макаренко, В.В. Михайленко, Заявник та власник патенту НТУУ “КПІ” – Завл. 18.09.2006, опубл. 15.02.2007. Бюл. № 2.
3. Макаренко М. П. Системний аналіз електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії модуляційного типу / М. П. Макаренко, В.І. Сенько, М. М. Юрченко – К. : НАН України, ІЕД, 2005. – 241 с.
4. Макаренко Н. П. Анализ электромагнитных процессов в двенадцатипульсном преобразователе с зонным регулированием выходного напряжения / Н. П. Макаренко, В. В. Михайленко, Н. Н. Юрченко // *Вестник НТУ "Харьковский политехнический институт"*. "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика". – 2002. – Т. 1. – С. 233–234.

## АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧ ЧАСТОТНОГО ПЛАНУВАННЯ

*Анотація.* Інтенсивний розвиток сфери телекомунікацій безпосередньо пов'язаний з впровадженням у практику новітніх радіотехнологій і систем зв'язку, появою нових послуг і видів зв'язку. В цих умовах забезпечення потреб у радіочастотному ресурсі усіх категорій користувачів здійснюється за рахунок перерозподілу вже освоєних і подальшого освоєння нових діапазонів частот. Перерозподіл частот, у свою чергу, призводить до збільшення навантаження на вже освоєні діапазони, що зумовлено зростанням кількості діючих радіоелектронних засобів, і до ускладнення електромагнітної обстановки. Освоєння нових діапазонів диктує необхідність виділення смуг радіочастот для новітніх радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку. В цих умовах задачі управління РЧР і забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв мають важливе практичне значення.

Дані задачі можуть бути вирішені тільки при реалізації відповідного науково-методичного апарату радіомоніторингу, застосування якого дало б змогу ефективного використання радіочастотного ресурсу в сучасних умовах. Тому тема дипломної роботи є актуальною.

У роботі викладено причини виникнення взаємних завад при роботі радіоелектронних засобів в ускладненій радіоелектронній обстановці, розглянуто сучасний науково-методичний апарат радіомоніторингу з визначенням в цьому місці електромагнітної обстановки для вирішення частотного планування РЕЗ.

*Ключові слова:* джерело радіовипромінення, електромагнітна обстановка, електромагнітна сумісність, пункт технічного радіоконтролю, радіовипромінюючий пристрій, радіорегламент, радіотехнології, радіочастотний ресурс.

### Вступ

У роботі проведено аналіз причин виникнення взаємних завад при роботі радіоелектронних засобів в ускладненій радіоелектронній обстановці, розглянуто сучасний науково-методичний апарат радіомоніторингу з визначенням в ньому електромагнітної обстановки для вирішення задач частотного планування РЕЗ рухомої служби.

Об'єкт дослідження – процес визначення електромагнітної обстановки для вирішення задач частотного планування радіоелектронних засобів рухомої служби.

Предмет дослідження – дослідження та розрахунок ЕМС РЕЗ в районі планування.

**Мета роботи.** Дослідження ефективності використання та визначення напрямків удосконалення розрахунку ЕМС РЕЗ в районі планування.

Методика припускає проведення аналізу ЕМС РЕЗ у районі планування, а у випадку використання загальної площадки для розміщення РЕЗ - ЕМС локального угруповання РЕЗ (об'єктова ЕМС).

У першому випадку враховуються завади наступних видів [1]:

- по основному каналу;
- по першому сусідньому каналу;
- завади інтермодуляції 3-го порядку.

В другому випадку, крім перерахованих вище, враховуються завади наступних видів [2]:

- по сусідніх каналах;
- інтермодуляція вище 3-го порядку (до 13-го порядку включно);
- блокування;
- по дзеркальному каналу;
- по першій ПЧ;
- на гармоніках.

При проведенні аналізу, вищезазначеної методики був встановлений показник ефективності цієї методики, при менших витратах на виміри електромагнітної обстановки, та рекомендовано для широкого використання цієї методики, при контролі та управлінні радіочастотним ресурсом і забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів.

### **Основна частина**

Інтенсивний розвиток сфери телекомунікацій безпосередньо пов'язаний з упровадженням у практику нових радіотехнологій і систем зв'язку, появою нових послуг і видів зв'язку. В цих умовах забезпечення потреб у радіочастотному ресурсі усіх категорій користувачів здійснюється за рахунок перерозподілу вже освоєних і подальшого освоєння нових діапазонів в частот.

Перерозподіл частот, у свою чергу, призводить до збільшення навантаження на вже освоєні діапазони радіочастот, що зумовлено зростанням кількості діючих РЕЗ, і до ускладнення електромагнітної обстановки. Освоєння же нових діапазонів частот диктує необхідність виділення смуг радіочастот для нових радіо технологій, систем і стандартів зв'язку. В цих умовах управління РЧР і забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) РЕЗ та випромінювальних пристроїв (ВП) мають важливе практичне значення.

Разом з тим, в останні роки розробники та виробники засобів телекомунікацій приділяють значну увагу вищим діапазонам радіочастот, які вважаються

найперспективнішими для практичного освоєння. На цей час в Україні діапазон радіочастот 3,5 ГГц інтенсивно освоюється радіотехнологій WiMAX, діапазони радіочастот 6/4 ГГц, 8/7 ГГц, 14/11 ГГц і 30/20 ГГц насичуються супутниковими системами зв'язку.

Складність вирішення завдань радіомоніторингу в діапазонах частот понад 3 ГГц зумовлена:

- труднощами виявлення, визначення місцезнаходження ДРВ і вимірювання параметрів їхнього радіовипромінювання;
- відмінностями законодавчого регулювання використання РЧР в Україні від ряду європейських країн;
- відсутністю необхідного технічного обладнання й відповідного нормативно-методичного забезпечення радіомоніторингу.

Незважаючи на велике різноманіття радіослужб, радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку, які нині існують у світі, на практиці для вирішення завдань радіомоніторингу можна використовувати обмежену кількість методів. Це положення радіотехнологій на можливості об'єднання радіотехнологій, систем зв'язку в групи за певними критеріями, що сприятиме застосуванню єдиних методів виявлення радіовипромінювань, вимірювання їхніх параметрів, пеленгування та визначення місцезнаходження ДРВ тощо. Залишається лише визначити критерії такої класифікації, розподілити системи радіозв'язку на групи за цими критеріями, відмітити для кожної із груп властиві їй методи радіомоніторингу та перелік технічних параметрів, які потрібно вимірювати та (чи) визначати під час його проведення. На практиці, говорячи про радіомоніторинг, часто мають на увазі дещо інші поняття, зокрема, контроль параметрів радіосигналів у високочастотних трактах.

До технічних характеристик РЕЗ відносяться [3]:

- потужність передавального пристрою;
- частота передачі;
- частота прийому;
- спектр (частотна маска) сигналу передавача;
- клас випромінювання;
- азимут максимального випромінювання антени;
- коефіцієнт підсилення антени, її тип і поляризація випромінювання;
- діаграма спрямованості антени;
- висота підвісу антени;
- величина необхідного захисного відношення;
- необхідна надійність зв'язку при відсутності завад.

Технічні характеристики РЕЗ, який планується, можуть бути отримані з матеріалів радіочастотної заявки, поданої заявником, а РЕЗ, що беруть участь у розрахунках ЕМС у регіоні планування, із загальної бази даних частотних присвоєнь.



В основі процедури підбору частот для РЕЗ лежить аналіз ЕМС РЕЗ, який полягає в розрахунку ЕМС в районі планування та ЕМС локального угруповання РЕЗ (об'єктова ЕМС).

Розрахунок ЕМС РЕЗ в районі планування виконується в наступному порядку:

а) вибір по територіальній ознаці РЕЗ, розташованих в області обмеженої зони дослідження;

б) вибір із РЕЗ, які обрані по територіальній ознаці, по частотній ознаці тих РЕЗ, що потенційно заважають новому частотному присвоєнню:

- визначення можливих джерел завад по основному каналу;
- визначення джерел завад по першому сусідньому каналу;
- визначення можливих джерел завад інтермодуляції 3-го порядку.

в) розрахунок рівня завад на вході приймача:

- по основному каналу;
- по першому сусідньому каналу;
- інтермодуляції 3-го порядку;

г) аналіз отриманих результатів та ухвалення рішення за результатами розрахунків про можливість частотного присвоєння з урахуванням впливу множинної завади або необхідності вибору іншої частоти. У випадку позитивного рішення щодо можливості частотоприсвоєння за результатами розрахунку ЕМС, необхідно перевірити наявність інших РЕЗ на спільному майданчику та, при наявності таких, провести розрахунок ЕМС локального групування РЕЗ (об'єктова ЕМС).

ЕМС локального угруповання РЕЗ виконується в наступному порядку:

а) серед РЕЗ, відібраних відповідно з попереднім пунктом вибираються РЕЗ, які розташовані в межах спільного майданчика в колі радіусом до 1 км від БС, що досліджується. Величина радіусу 1 км обумовлена наступним припущенням – втрати при розповсюдженні радіохвиль для цієї відстані складають  $60 \div 100$  дБ (модель розповсюдження у вільному просторі) у залежності від частотного діапазону, що зводить до мінімуму імовірність впливу на приймач інших видів завад на великих відстанях від передавача. Всі станції, що потрапили в зону, обмежену цим колом, вибираються для проведення подальшого аналізу.

б) РЕЗ, які потенційно можуть створювати завади прийому БС, що досліджується, або підпадають під дію її завади, відбираються по частотній ознаці серед РЕЗ, вибраних по територіальній ознаці. Для кожного з відібраних передавачів (чи групи передавачів) перевіряється частотна умова можливості створення завади досліджуваному приймачеві або для кожного з відібраних приймачів по групі відібраних передавачів перевіряється частотна умова можливості постановки завад від досліджуваного передавача по наступним видах завад:

- по сусідніх каналах;

- по інтермодуляції 3-го - 13-го порядків;
- по дзеркальному каналу;
- по першій ПЧ;
- на гармоніках;
- по блокуванню;
- в) розраховуються рівні для кожного виду завади;
- г) здійснюється аналіз отриманих результатів і, за результатами розрахунків, приймається рішення про можливість частотного присвоєння з урахуванням впливу множинної завади або необхідність вибору іншої частоти.

Загальний алгоритм проведення частотоприсвоєння для РЕЗ приведений на рис. 1.

Для вибору станцій, які характеризують електромагнітну обстановку в місці передбачуваного нового частотоприсвоєння, необхідно визначити розміри розрахункової зони. Для цього необхідно окреслити коло з центром в точці з координатами нового частотоприсвоєння (BS) і радіусом, рівним подвоєному радіусу заявленої зони обслуговування (2d) [4], або відповідній відстані згідно стандарту для даного виду зв'язку та діапазону частот (рис.2)

Всі станції, що потрапили в простір, обмежений цим колом (рухомі, спільно зі своїми базовими, навіть якщо останні не потрапили в цю область), вибираються для подальшого аналізу на виконання частотних вимог.

Незважаючи на всю різноманітність факторів, які впливають на якість прийому сигналів, класичним підходом у визначенні якості функціонування РЕЗ є оцінка енергетичного відношення сигнал/(завада+шум) при заданих показниках. Тому за основний критерій оцінки параметрів ЕМС РЕЗ прийнятий енергетичний критерій, виражений за допомогою відношення сигнал/завада при заданих показниках якості:

$$\frac{P_S}{P_I} \geq A(\Delta f) = A_0 * FDR(\Delta f) , \quad (1)$$

де  $A(\Delta f)$  - захисне відношення при даному частотному розстроюванні  $\Delta f$  між корисним сигналом та завадою;  $A_0$  - захисне відношення по сполученому каналу;  $FDR(\Delta f)$  - коефіцієнт, який характеризує ослаблення завади в залежності від частотного розстроювання між корисним сигналом і завадою;  $P_S$  - потужність корисного сигналу на вході приймача, підданого впливу завад;  $P_I$  - потужність завади на вході приймача, підданого впливу завад.

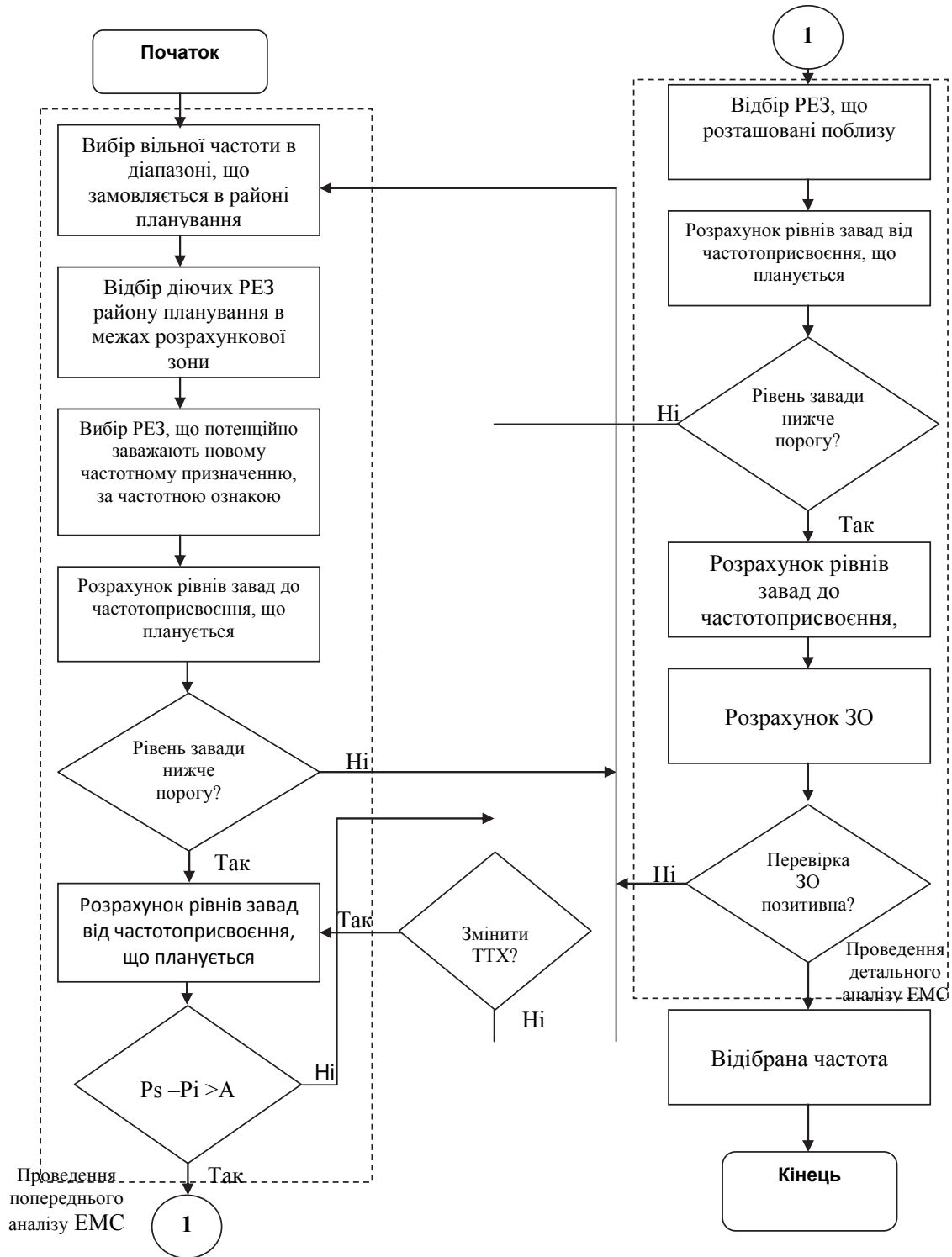
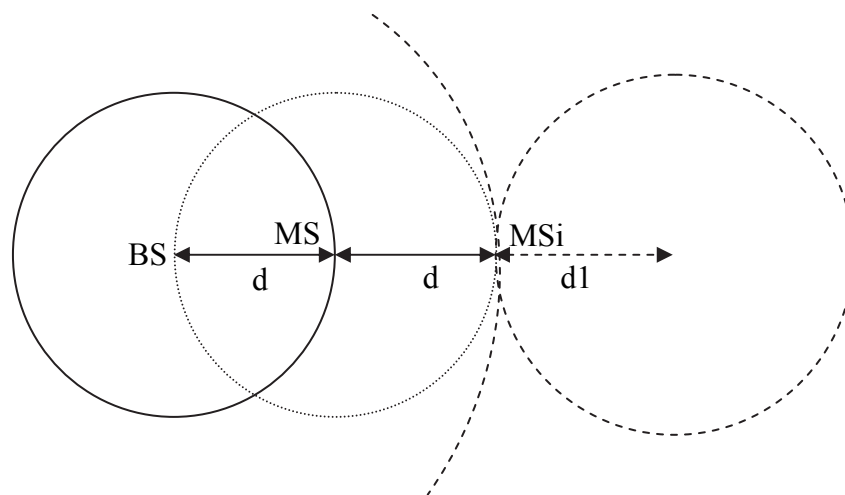


Рис. 1 Загальний алгоритм підбору частот для РЕЗ



**Рис. 2.** Вибір заваднебезпечних РЕЗ

Вплив середовища на розповсюдження радіохвиль, в силу випадкової природи незліченної кількості причин, виявляється в зміні амплітуди поля хвилі, зміні швидкості і напрямку розповсюдження хвилі, у повороті площини поляризації хвилі та інших спотвореннях сигналу. Тому флуктуації рівнів корисного сигналу на вході приймача також є випадковою величиною.

Рухомий зв'язок характеризується великими змінами напруженості поля, як функції місця розташування і часу. Ці зміни можуть бути описані логнормальним розподілом зі стандартним відхиленням 8 дБ у діапазоні 30 – 300 МГц і 10 дБ у діапазоні 300-3000 МГц [5].

Конкретне значення величини необхідного захисного відношення є характеристикою досліджуваної системи рухомого зв'язку (стандарту рухомого зв'язку) і задається в вигляді вихідних даних при аналізі ЕМС.

### **Висновок**

Викладено причини виникнення взаємних завад при роботі радіоелектронних засобів в ускладненій радіоелектронній обстановці, розглянуто сучасний науково-методичний апарат радіомоніторингу з визначенням в ньому електромагнітної обстановки для вирішення задач частотного планування РЕЗ рухомої служби.

Методика припускає проведення аналізу ЕМС РЕЗ у районі планування, а у випадку використання загальної площадки для розміщення РЕЗ - ЕМС локального угруповання РЕЗ (об'єктова ЕМС).

У першому випадку враховуються завади наступних видів :

- по основному каналу;
- по першому сусідньому каналу;
- завади інтермодуляції 3-го порядку.

В другому випадку, крім перерахованих вище, враховуються завади наступних видів :

- по сусідніх каналах;
- інтермодуляція вище 3-го порядку (до 13-го порядку включно);
- блокування;
- по дзеркальному каналу;
- по першій ПЧ;
- на гармоніках.

При проведенні аналізу, вищезазначеної методики був встановлений показник ефективності цієї методики, при менших витратах на виміри електромагнітної обстановки, та рекомендовано для широкого використання цієї методики, при контролю та управління радіочастотним ресурсом і забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів

#### Список використаних джерел

1. Recommendation ITU-R P.341-4. The concept of transmission loss for radio links.
2. Recommendation ITU-R SM.337-4. Frequency and distance separations.
3. Recommendation ITU-R PN.525-2. Calculation of free-space attenuation.
4. Bornemann W. [2011] Aerial Installation on Naval Ship. Summary of the paper presented at Antenna Conference, Karlskrona.
5. Humennyi, D Parkhomey, I., Tkach, M. **Structural model of robot-manipulator for the capture of non-cooperative client spacecraft** .Volume 754, 2019, Pages 33-421st International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications, ICCSEEA2018; Kiev; Ukraine; 18 January 2018

## АЛГОРИТМ УТОЧНЕНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ В НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

*Анотація:* Розвиток технологій доповненої реальності та можливостей і потужності мобільних пристроїв призвів до виникнення окремого класу мобільних навігаційних систем доповненої реальності, що мають значні додаткові можливості відображення інформації та її використання. Основною вимогою до таких систем є необхідність синхронізації позиції та маршруту користувача з об'єктами навколишнього середовища, що потребує високої точності позиціонування та орієнтації користувача у просторі. В статті проведений аналіз існуючих методів визначення позиції в просторі, та запропоновано алгоритм, що надає суттєвий приріс точності позиціонування в системах доповненої реальності.

*Ключові слова:* навігаційна система, методи позиціонування та орієнтації, доповнена реальність.

### Вступ

Сучасний стан розвитку мобільних пристроїв, зокрема технологія доповненої реальності (AR) за допомогою фреймворків ARCore [1] та ARKit [2] для платформ Android та iOS відповідно, дали змогу реалізувати ряд амбіційних ідей по створенню нових навігаційних систем. Серед нових можливостей, що надали описані фреймворки, можна виділити розпізнавання горизонтальних та вертикальних поверхонь, маркерне розпізнавання, точне обчислення результатів з акселерометра та гіроскопа, здатність синхронізації одного простору розпізнаних поверхонь на декілька пристроїв [1, 2, 3]. Завдяки цьому стає реальним створення алгоритмів для уточненого позиціонування на місцевості, що використовують як вхідні дані не лише GPS координати пристрою, а і його локальні зміщення, визначені акселерометром та гіроскопом. В свою чергу локальні зміщення можуть бути уточнені шляхом розпізнавання поверхонь об'єктів навколишнього середовища з вхідного відео потоку камери мобільного гаджета та аналізу їх змін в часі [3].

Такі алгоритми актуальні лише для так званих AR навігаторів, де візуалізація маршруту до точки проводиться у вигляді об'ємної полілінії, накладеної на зображення з камери. Дане твердження ґрунтується на тому, що звичайні навігатори з відображенням 2D карти не потребують значної точності (до 5-10 м), оскільки, навіть маючи високу точність позиціонування, не здатні інформативно це показати. В свою чергу, AR навігатори потребують високої точності позиціонування користувача в просторі, оскільки AR відображення маршруту має ідеально накладатись на реальний світ, відображений через камеру пристрою, інакше виведена інформація може бути незрозумілою.

## Інформаційна модель AR навігатора

На рис. 1 приведено загальну інформаційну модель AR навігатора [4].

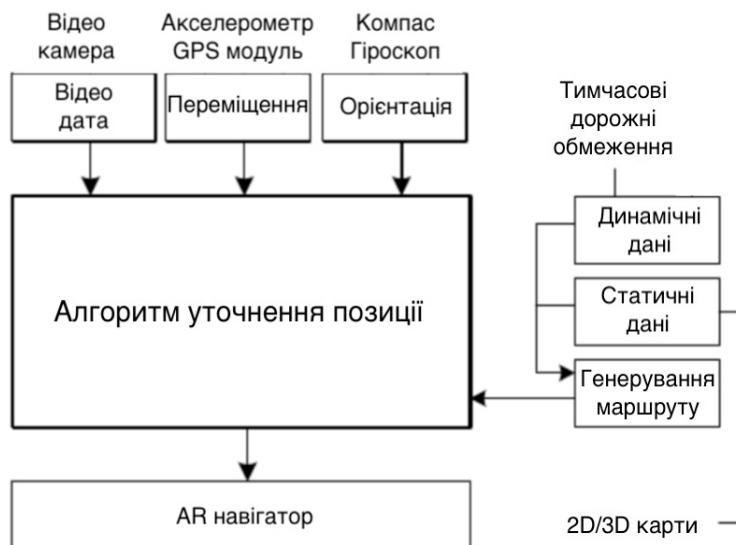


Рис. 1. Інформаційна модель AR навігатора

Для реалізації AR навігатора необхідно 2 види інформаційних потоків: дані про позиціонування та орієнтацію користувача та дані про місцевість.

В свою чергу перший інформаційний потік має включати 3 види інформації:

1. GPS координати та значення повороту пристрою за показаннями компаса, що дають грубе визначення позиції в глобальних координатах;
2. покази пристроїв про локальні переміщення (гіроскоп та акселерометр) для уточнення позиції з основних приладів позиціонування;
3. зображення з камери, необхідне для відображення навколишнього світу користувача, на яке буде накладатись інформація про маршрут.

Описані потоки даних являються вхідними даними для запропонованого нижче алгоритму уточненого позиціонування, який і лежить в основі AR навігатора.

Після визначення уточненої позиції та орієнтації в просторі необхідно розробити та відобразити маршрут до потрібного місця. Маршрут генерується у вигляді сукупності точок, де кожен вузол має координати і являє собою місце зміни напрямку. На маршрут впливають статичні (дороги, будівлі, ландшафт) і динамічні (ДТП, дорожні ремонти, затоплення зони) особливості місцевості.

Питання побудови та візуалізації маршруту на карті та екрані мобільного пристрою з урахуванням додаткових даних виходять за рамки даної статті, тому зазначимо лише, що для обробки даного потоку було використано зручний і багатofункціональний фреймворк Mapbox [5], реалізований у вигляді хмарного сервісу.

## **Аналіз існуючих підходів до уточнення позиціонування пристрою**

Найпоширенішим і найпростішим способом позиціонування є навігація виключно на основі GPS координат. Однак такий метод має найбільші похибки і не підходить для AR навігаторів. Для подолання похибок у відображенні AR маршруту на зображення реального світу можливі наступні підходи:

1. Уточнювати координати користувача за рахунок алгоритмів статистичного або імовірнісного аналізу серії неточних вимірювань з відомими імовірнісними характеристиками. Використовуючи у якості вхідних параметрів лише дані GPS-модуля, можна покращити результат на основі застосування так званих рекурсивних фільтрів або ймовірнісних методів обчислення.

Рекурсивні алгоритми уточнюють значення координат на основі послідовностей зашумлених вимірів у часі, тобто є фільтрами, які на основі зашумлених даних видають статистично оптимальне значення стану системи. Найбільш популярним фільтром в навігаційних системах є фільтр Калмана [6].

Ймовірнісні алгоритми мають схожий з рекурсивними фільтрами принцип роботи, що полягає в визначенні найбільш імовірного поточного стану системи (в випадку навігації – найбільш імовірна позиція користувача), виходячи з досліджень попередніх даних [7].

2. Використання альтернативних способів визначення положення, наприклад безпроводних технологій WiFi або BLE (Bluetooth Low Energy) точок. Суть методу [8] полягає у визначенні суперпозиції користувача за рахунок визначення його взаємного розташування відносно точок WiFi або BLE. Виходячи з практичних досліджень [9], метод позиціонування на основі WiFi/BLE точок показує значно нижчий результат, ніж використання рекурсивних фільтрів або ймовірнісних алгоритмів. Це зумовлено тим, що в містах, а тим більше поза їх межами відсутня однорідна мережа безкоштовних WiFi/BLE точок, а їх частотні характеристики сильно спотворюються. Тому дані методи застосовуються в місцях, де неможливе або ускладнене застосування систем глобальної навігації, наприклад, у будівлях.

3. З розвитком сенсорних систем, що вбудовуються в смартфони, виникають нові алгоритми позиціонування, які отримують на вході не тільки GPS координати, а і дані з інших інформаційних потоків (див. рис.1), зокрема, значення локальних зміщень пристрою – з акселерометра та гіроскопа. Використання декількох джерел даних замість одного дозволяє підвищити точність позиціонування, знижуючи потребу у великій кількості вимірювань та ймовірнісному або статистичному аналізу системи.

Звичайно, значення на виході акселерометра, магнітометра (компаса) та інших сенсорних приладів мобільного пристрою все одно обчислюються з похибкою [10]. Найпростіший спосіб зменшити похибку позиціонування – дозволити



мануальне підлаштовування карти користувачу, тобто перетягнути і повернути утворену візуалізацію маршруту так, щоб вона стала на своє місце. Такий підхід застосовується, наприклад, в популярному додатку ARCity [11]. Більш перспективний спосіб корегування неточності приладів для визначення локальних переміщень полягає у застосуванні мобільних систем доповненої реальності, зокрема, ARKit або ARCore, які корегують вимірювання акселерометра та ін. за рахунок визначення горизонтальних та вертикальних поверхонь реального світу. Іншими словами, система здатна визначати зміщення пристрою за рахунок співставлення зображень у різні моменти часу [3]. При зростанні швидкості навігації розпізнавання зображень з камери має бути доповнено трекером об'єктів [12].

На практиці при застосуванні технологій доповненої реальності точність локального позиціонування значно зростає, що дозволяє нехтувати похибкою зміщень смартфона у локальній системі координат на невеликій відстані.

Очевидно, що саме останній підхід є найперспективнішим для реалізації в навігаційних системах доповненої реальності, оскільки без потреби ручного налаштування та великої кількості вимірювань потенційно може забезпечити не гірші результати за популярні методи нечіткої ідентифікації у просторі без додаткової інформації про характер нечіткості, імовірнісних характеристик неточних вимірювань тощо. До того ж, враховуючи новизну AR навігаторів, подібні алгоритми є недостатньо дослідженими. Тому, стаття присвячена актуальній проблемі реалізації методу мінімізації похибок позиціонування GPS модуля в типових мобільних пристроях на основі лише попередніх координат та показань вбудованих сенсорних пристроїв.

### **Алгоритм уточнення положення на основі локальних зміщень пристрою**

Як було зазначено раніше, для реалізації алгоритму уточненого позиціонування на мобільних платформах доцільним є застосування технологій ARKit або ARCore, оскільки вони автоматично визначають кінцеве значення локальних зміщень девайсу (далі - сенсорні координати) і гарно інтегруються у навігаційні системи доповненої реальності.

Алгоритм роботи має циклічний характер. Кожен цикл розрахунків проводиться після оновлення даних GPS модуля.

Всі обчислення проводяться у локальній системі координат. Локальна система координат формується з дотриманням декількох правил:

1. масштаб системи координат по відношенню до світу - 1:1;
2. напрямки осей локальної системи координат співпадають зі сторонами світу, наприклад, північний напрямок -  $(0, 0, 1)$ , східний -  $(1, 0, 0)$ .

З цього випливає, що якщо пристрій користувача з початку сесії перемістився на 10 м на захід, його сенсорні координати мають бути (-10, 0, 0).

Оскільки значення зміщень з гіроскопа та акселерометра визначаються без урахування правильної орієнтації на сторони світу, перед використанням їх повертають навколо центру координат на кут, рівний значенню кута компаса при старті алгоритму:

$$LOC_{i+1} = LOC_i + T_k * \Delta LOC \# \quad (1)$$

де  $\Delta LOC$ ,  $LOC$  – локальні зміщення мобільного пристрою,  $T_k$  – матриця трансформації, яка повертає значення зміщення на необхідний кут компаса:

$$T_k = \begin{pmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\alpha) & 0 \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \# \quad (2)$$

Таким чином, локальна система координат відображає систему координат реального світу, однак її центр знаходиться на початковому місці пристрою.

Оскільки GPS координати надходять у форматі широта-довгота, їх необхідно трансформувати у координати локальної системи. Одиниця виміру для обчислень - метр.

Для досягнення правильних значень локальних GPS даних, необхідно враховувати геометричні параметри Земної кулі в цілому та локальні висоти ландшафту. Для цього було використано можливості одного з найпоширеніших кросплатформених фреймворків Marbox [5].

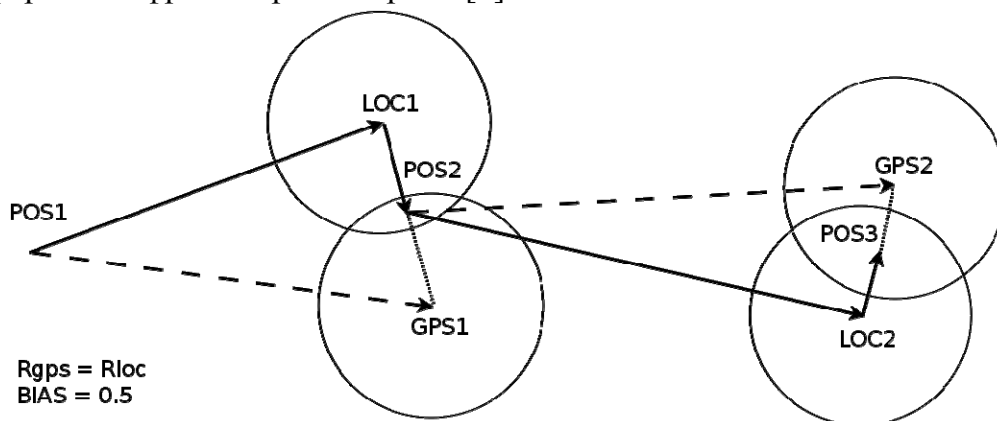


Рис. 2. Візуалізація описаного алгоритму уточненого позиціонування

Головною складністю алгоритму є те, що неточними є не тільки GPS дані, а і дані про локальні зміщення з гіроскопа та акселерометра. Ці локальні зміщення мають дуже високий ступінь точності лише на коротких відстанях. Саме тому алгоритм не проводить розрахунки один раз, а має циклічний характер і повторюється кожен раз при отриманні нових GPS даних.

Виходячи з попереднього твердження, задамо радіуси довіри для GPS координат та для локальних координат пристрою. Експериментальним шляхом визначено радіус довіри для локальних координат  $R_{LOC} = 10$  м. Для GPS координат доцільно використати аналогічний радіус  $R_{GPS} = 10$  м.

Також для гнучкого налагодження алгоритму перед початком його роботи обирається значення параметра  $BIAS$ , що характеризує розподіл довіри між даними від GPS модуля та від локальних зміщень. Так, якщо  $BIAS = 0$  значення локальних змін вважається істинним, і навпаки, якщо  $BIAS = 1$  істинним вважається значення GPS даних. Крім ручного задання параметру  $BIAS$  дане значення може бути розраховано залежно від параметрів  $R_{LOC}$  та  $R_{GPS}$ :

$$BIAS = R_{LOC} / (R_{LOC} + R_{GPS}) \# \quad (3)$$

Опишемо один цикл розрахунку положення за алгоритмом (рис. 2):

1. На вхід циклу подається оновлене значення GPS координат користувача. Це значення трансформується в локальну систему координат  $GPS_{i+1}$  та записується в пам'ять.

2. На основі сенсорних координат з попереднього циклу та зміщень пристрою між поточним та попереднім циклами розраховується поточні сенсорні координати за формулою (1).

3. Маючи поточні значення локальних GPS та сенсорних координат, а також радіуси довіри по кожному з типів координат, за допомогою діаграми Венна визначається зона, в якій знаходиться істинна позиція користувача.

4. Для знаходження уточненої позиції користувача між  $LOC_{i+1}$  та  $GPS_{i+1}$  відбувається лінійна інтерполяція з переметром  $BIAS$ :

$$POS_{i+1} = LOC_{i+1} + (GPS_{i+1} - LOC_{i+1}) * BIAS \# \quad (4)$$

Ця позиція стає новою точкою відліку для майбутніх циклічних розрахунків.

5. Коли дані з GPS модуля оновлюються, алгоритм повторюється.

Для зменшення похибки орієнтації описаний метод модифікується таким чином, що після кожного циклу розрахунків локальна система координат повертається на кут  $\beta$ , рівний куту між векторами  $(POS_i, LOC_{i+1})$  та  $(POS_i, POS_{i+1})$ :

$$T_{loc} = T_{rot} * T_{loc} \# \quad (5)$$

де  $T_{loc}$  – матриця трансформації локальної системи координат,  $T_{rot}$  - матриця трансформації для повороту локальної системи координат на кут  $\beta$ :

$$T_{rot} = \begin{pmatrix} \cos(\beta) & \sin(\beta) & 0 \\ -\sin(\beta) & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \# \quad (6)$$

### Результати роботи алгоритму уточнення

Для реалізації описаних алгоритмів було застосовано кроссплатформене середовище для розробки додатків Unity3D, плагіни ARKit та Mapbox. Для тестування та налагодження алгоритмів було створено симуляційний режим, що розраховував нову позицію користувача, приймаючи на вхід сукупність параметрів:

1. Точність GPS координат (в метрах);
2. Точність сенсорних даних з мобільного пристрою (у відсотках);
3. Точність компаса (у відсотках);
4. Параметр *BIAS*

На основі експериментальних досліджень вбудованих вимірювальних пристроїв смартфона iPhone 8 Plus при тестуванні алгоритмів було задано такі параметри:

1. Точність GPS – 20 м;
2. Точність гіроскопа для вимірювання повороту телефону – близька до 100%;
3. Точність акселерометра для вимірювання локальних зміщень приймемо за 80%. Причому вектор похибки завжди співпадає з вектором напрямку девайса;
4. Точність компаса – 95%–99%, оскільки в деяких випадках спостерігалось відхилення від правильного значення на 15°;

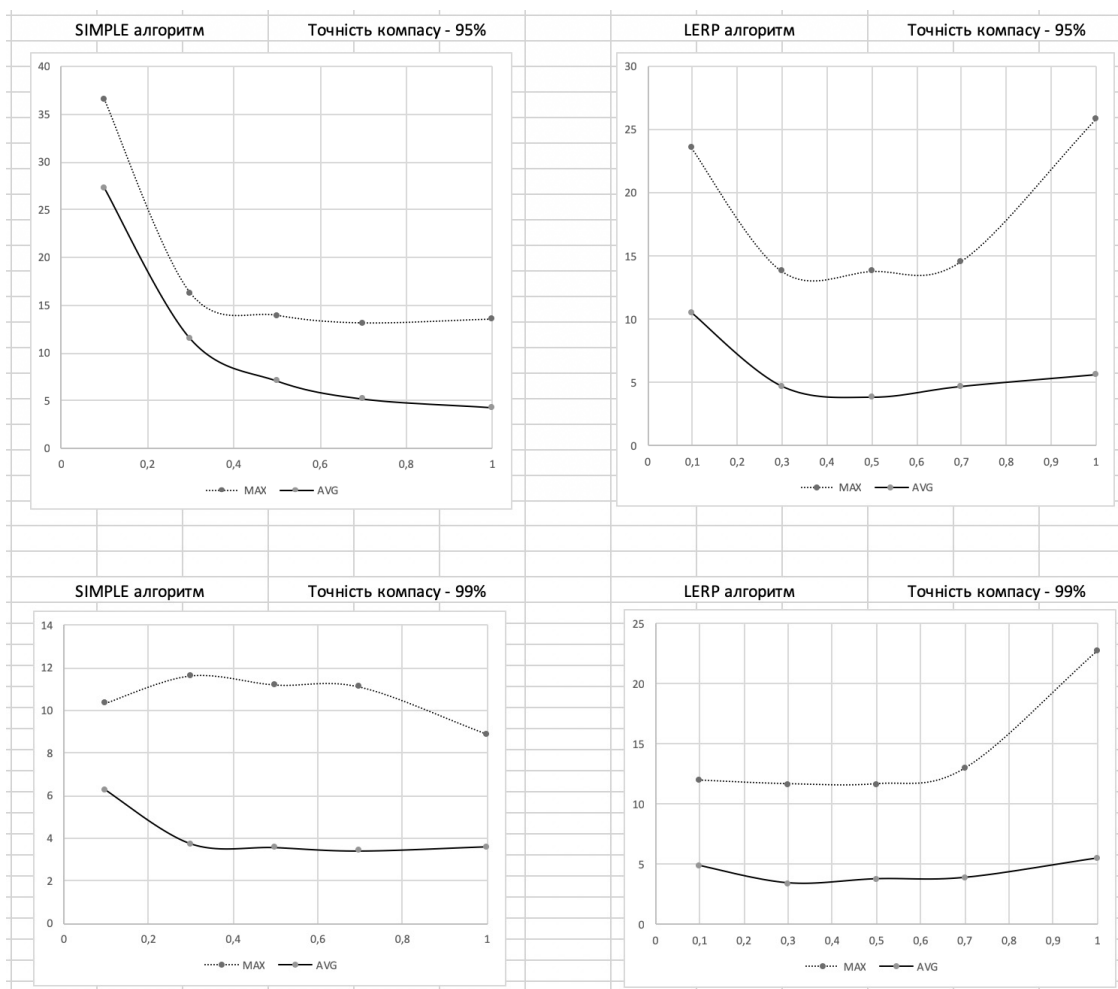
Дослідимо значення точності позиціонування за описаними алгоритмами (SIMPLE – без корекції кута повороту локальної системи координат; LERP – з корекцією) при зміні параметру *BIAS*. Під час тестування алгоритмів маршрут був аналогічний в усіх випадках. Мінімальне значення пройденої відстані між двома сусідніми циклами обрахунків – 10м. В результатах експериментів відображено максимальне (MAX) та середнє (AVG) відхилення в метрах отриманого результату від еталонного.

Проаналізувавши результати (рис. 3) з більш реальною точністю компаса видно, що найкращим при заданих параметрах точності є алгоритм з корегуванням кута локальної системи координат використовуючи значення  $BIAS \approx 0,5$ . При зростанні точності компаса корисний ефект корегування кута зменшується і зникає.

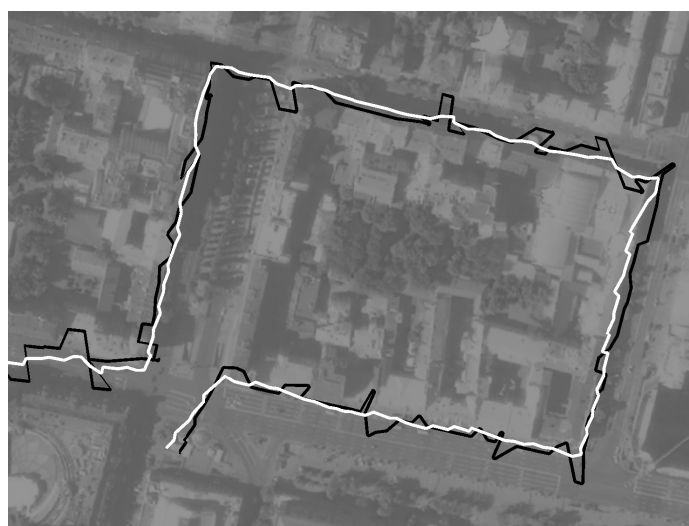
Для більш наглядного аналізу алгоритму уточнення з корегуванням кута було отримано представлення двох траєкторій (рис.4.):

1. Темна траєкторія відображає позиції користувача, утворені лише з даних GPS модуля. В даному випадку максимальне зміщення від еталонного положення – 20м, а середнє – 6,5 м.

2. Світла траєкторія відображає шлях, згенерований алгоритмом уточнення з корекцією кута локальної системи координат (LERP). В даному випадку максимальне відхилення позиції від бажаної – 15,2 м, а середнє – 4,4м.



**Рис. 3.** Результати роботи алгоритмів уточнення при різних значеннях *BIAS* та точності компаса



**Рис. 4.** Візуальне порівняння роботи алгоритмів: темна траєкторія – за GPS координатами, світла – алгоритм з уточненням

SIMPLE алгоритм без корегування кута повороту локальної системи координат в даних умовах дає середнє відхилення від бажаної позиції 4,8 м.

В цілому ж результати дослідження роботи запропонованого алгоритму демонструють значне покращення точності позиціонування порівняно з використанням лише GPS координат – понад 30%.

Також дослідження показали, що на результат роботи алгоритму сильний вплив має похибка компаса, яка за певних умов може суттєво перевищувати прийняту в дослідженні [10]. Проблему можна вирішити розробкою методів валідації показаннями з інших джерел або введенням калібраційного режиму, при якому під час старту навігації користувач може сам відкоригувати поворот карти відносно сторін світу. До того ж це може бути зроблено просто і наочно з використанням можливостей доповненої реальності.

### **Висновки**

Запропонований алгоритм геометричного визначення позиції користувача на основі даних GPS-модуля та локальних зміщень мобільного пристрою може бути ефективно застосований в навігаційних системах доповненої реальності, особливо при використанні візуального розпізнавання поверхонь реального світу, що значно підвищує точність локального позиціонування пристрою.

Результати експериментальних досліджень свідчать, що при заданих реальних похибках вимірювань сенсорних пристроїв алгоритм демонструє точність на понад 30% вищу за базовий метод на основі лише GPS координат.

Перспективно виглядає розробка модифікацій даного алгоритму з урахуванням наявної інформації про імовірнісні характеристики нечітких вимірювань наявних приладів. Також, окремим питанням подальших досліджень є підвищення ефективності використання відео даних – розпізнавання оточуючих поверхонь, їх положення, віддаленості та орієнтації і врахування цих даних при розрахунку локальних переміщень та глобального положення.

### **Список використаних джерел**

1. ARCore [Електронний ресурс] // ARCore. 2018. URL: <https://developers.google.com/ar/>.
2. Dilek U., Erol M. Detecting position using ARKit // Physics Education. 2018. Т. 53. №. 2.
3. Rettenmund D. Accurate visual localization in outdoor and indoor environment exploiting 3D image spaces as spatial reference // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences. 2018. Т. 42. №. 1.
4. Narzt W., Pomberger G., Ferscha A. Augmented reality navigation systems // Universal Access in the Information Society. 2006. С. 177-187.

5. How Mapbox work [Електронний ресурс] // Mapbox. 2018. URL: <https://www.mapbox.com/help/how-mapbox-works/>.

6. Robert M. Leishman C. Multiplicative Extended Kalman Filter for Relative Rotorcraft Navigation // Journal of Aerospace Information Systems. 2014. С. 728– 744

7. Madigan D. Bayesian indoor positioning systems //24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings IEEE. 2005. С. 1217-1227.

8. Cong Chao, An Innovative Indoor Location Algorithm Based on Supervised Learning and WIFI Fingerprint Classification // International Conference On Signal And Information Processing, Networking And Computers. 2017. С. 238-246.

9. Аверин И.М. Позиционирование пользователей с использованием инфраструктуры локальных беспроводных сетей // IV Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь». 2010.

10. Neumeier R., Ostermayer G. Analysis of compass sensor accuracy on several mobile devices in an industrial environment // International Conference on Computer Aided Systems Theory. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. С. 381-389.

11. Welcome to AR City [Електронний ресурс] // Blippar. 2018. URL: <https://www.blippar.com/blog/2017/11/06/welcome-ar-city-future-maps-and-navigation>.

Пантелеев А.С., Олейник В.В. Метод визуального мультитрекинга в реальном времени на основе корреляционных фильтров // Міжвідомчий науково-технічний збірник "Адаптивні системи Автоматичного Управління", К: Політехніка. 2018. Т.1, №32. С. 97-106.

## РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ЦИФРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ВХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

*Анотація:* У ряді областей техніки форму сигналів пов'язують з об'єктом дослідження, прикладом цього служать радіолокація, технічна та медична діагностика, телеметрія та ін. Як правило, тут мають місце нестационарні випадкові сигнали малої тривалості у часі. В результаті обробки таких сигналів, наприклад, за допомогою лінійного цифрового фільтра, їх форма, а, отже, діагностичні ознаки що містяться в ньому можуть бути сильно спотворені. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розробка алгоритмів цифрової фільтрації сигналів, спрямованих на збереження їх первісної форми.

Метою даної роботи є розробка алгоритму цифрової фільтрації сигналів на основі математичного апарату швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Для досягнення поставленої мети в роботі був проведений аналіз існуючих способів цифрової фільтрації сигналів та здійснено синтез алгоритму цифрової фільтрації на основі математичного апарату ШПФ. В результаті отриманих досліджень було визначено, що для збільшення швидкодії ШПФ необхідно організувати таким чином, щоб на кожній стадії дані для обробки можна було б зчитувати з пам'яті послідовно. Для цього на попередній стадії результати обчислень потрібно зберігати в необхідному порядку. Розглянутий алгоритм був реалізований на процесорі ARM Cortex-M3.

*Ключові слова:* цифро-аналоговий перетворювач, цифрова обробка сигналів, швидке перетворення Фур'є, мікроконтролер ARM Cortex-M3.

### Опис проблеми та постановка задачі

У ряді областей техніки форму сигналів пов'язують з об'єктом дослідження, прикладом цього служать радіолокація, технічна та медична діагностика, телеметрія та ін. Як правило, тут мають місце нестационарні випадкові сигнали малої тривалості у часі. В результаті обробки таких сигналів, наприклад, за допомогою лінійного цифрового фільтра, їх форма, а, отже, діагностичні ознаки що містяться в ньому можуть бути сильно спотворені. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розробка алгоритмів цифрової фільтрації сигналів, спрямованих на збереження їх первісної форми.

Якщо для цифрової фільтрації зі збереженням форми сигналів використовуються адаптивні алгоритми (адаптивні цифрові фільтри), то для них також виникає ряд складнощів, так як метою застосування алгоритму адаптивної фільтрації сигналів є досягнення локального або глобального екстремуму функціоналу якості. У задачі



Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 2' (33) 2018

збереження вихідної форми сигналу під функціоналом якості розуміється залежність значень середнього квадрата помилки від параметрів адаптації цифрового фільтра. Якщо статистичні властивості сигналів змінюються в часі, то функціонал якості можна вважати «розмитим» або нечітким. В цьому випадку процес адаптації полягає не тільки в русі до точки екстремуму, але й в стеженні за цією точкою, оскільки вона змінює своє місце розташування в просторі. У розглянутих умовах використання адаптивних алгоритмів на основі принципів оптимальної лінійної фільтрації є неефективним і нерациональним з точки зору обчислювальних витрат.

Таким чином, для вирішення задач цифрової фільтрації зі збереженням форми сигналів особливої актуальності набуває розробка альтернативних алгоритмів цифрової фільтрації сигналів, на основі математичного апарату швидкого перетворення Фур'є.

Метою роботи є розробка алгоритму цифрової фільтрації сигналів на основі математичного апарату швидкого перетворення Фур'є.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно виконати низку завдань:

- виконати аналіз існуючих способів цифрової фільтрації;
- здійснити синтез алгоритму цифрової фільтрації на основі математичного апарату швидкого перетворення Фур'є;
- запропонувати програмну реалізацію алгоритму;
- навести пропозиції щодо технічної реалізації синтезованого алгоритму цифрової фільтрації.

Об'єктом роботи є алгоритм цифрової фільтрації сигналів.

Предметом є процес розробки алгоритму цифрової фільтрації сигналів на основі мат. апарату швидкого перетворення Фур'є.

### **Основна частина**

Тенденція розвитку мікропроцесорних пристроїв в даний час носить експонентний характер. Використання мікропроцесорів дозволяє не лише зменшити масогабаритні показники, а й істотно поліпшити технічні характеристики, в тому числі швидкодію пристроїв. Так, наприклад, реалізація частотних фільтрів на мікропроцесорних пристроях дозволяє забезпечити сталість характеристик, прецизійне налаштування і уникнути негативних впливів старіння аналогових елементів. Сучасні мікропроцесорні пристрої являють собою сукупність декількох спеціалізованих інтегральних схем, які фактично виконують функції процесора ЕОМ.

Реалізація алгоритмів цифрової обробки сигналів (ЦОС) зводиться до написання і налагодження програм на мові *C* або асемблері. Реалізація програм на мові асемблер дозволяє створювати компактні, досить ефективні програми, але вимагає докладного вивчення архітектурних особливостей використовуваного

мікропроцесора. Такі програми, як правило, «економічно» використовують пам'ять мікропроцесора. Реалізація програм на асемблері дозволяє використовувати всі можливості мікропроцесора при жорстких умовах обмеження розміру пам'яті та необхідної швидкодії.

Проведений аналіз літератури показує, що написання програм для мікропроцесорних пристроїв найчастіше здійснюється на мові *C*. Ця закономірність очевидна. Мова високого рівня *C* дозволяє полегшити процес створення і налагодження програм. Створені програми при цьому не відрізняються компактністю коду, ефективністю виконання і мінімізацією використання пам'яті. Цю обставину необхідно враховувати при розробці програм призначених для ЦГЗ в режимі реального часу.

Серед мікропроцесорів для вбудованих систем одними з найперспективніших і швидкодіючих є мікропроцесори побудовані на ядрі *ARM*. Серед цих пристроїв лідируюче місце займають 32-розрядні мікропроцесори *Cortex-M3* [1]. Вони виділяються оптимальною ціною і продуктивністю. На випуску цих мікропроцесорів спеціалізуються багато відомих фірм, такі як *Atmel*, *Texas Instruments*, *ST Microelectronics*, *NXP*, та ін. Перелічимо основні переваги мікроконтролерів *ARM Cortex-M3* [1, 2].

1. Повністю 32-бітна архітектура:

- всі регістри 32-бітові, арифметичні операції працюють з 32-бітними даними;
- операція множення 32-розрядних чисел виконується за 1 такт, розподіл за 2-12 тактів.

2. Вбудований контролер переривань (*Nested Vectored Interrupt Controller (NVIC)*) підтримує до 240 переривань і до 256 пріоритетів, при цьому забезпечує високошвидкісну реакцію на переривання.

3. Повноцінна підтримка і реалізація прямого доступу до пам'яті (*Direct Memory Access*).

4. Спеціалізований набір інструкцій *Thumb-2* [2] дозволяє створювати досить компактний виконуваний код. Розроблений набір інструкцій орієнтований на роботу з популярним компілятором мови високого рівня *C*.

Розглянуті мікроконтролери *Cortex-M3* знаходять широке застосування в пристроях ЦОС. *Cortex-M3* мають продуктивність в десятки *MIPS*, низьке споживання енергії і, як правило, наявність різноманітних периферійних пристроїв, виконаних на кристалі, що робить даний тип мікроконтролерів підходящим засобом для реалізації цифрової обробки сигналів в недорогих пристроях.

Завдання визначення спектрального складу – амплітуд, частот і фаз гармонічних складових складного сигналу зустрічається при аналізі багаточастотних коливань в системах управління, при розпізнаванні багаточастотних сигналів

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 2' (33) 2018 в лініях зв'язку і т.п. Для вирішення цього завдання найчастіше застосовується дискретне перетворення Фур'є (ДПФ).

Алгоритм швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) є одним з найбільш часто використовуваних при цифровій обробці сигналів. У тому чи іншому варіанті він застосовується при гармонійному аналізі, кодуванні різного роду мультимедіа інформації, систем цифрової діагностики, фільтрації сигналів і для вирішення інших завдань, в зв'язку з чим велике значення має ефективна реалізація цього алгоритму для різних цифрових і універсальних процесорів.

Під назвою ШПФ ховається велика кількість різних алгоритмів, що ДПФ, кожен з яких має свої переваги.

Алгоритм винограду (*Winograd*) проводить перетворення з мінімальною кількістю множень, а алгоритм Джонсона-Баррасса (*Johnson-Burrus*) має мінімальну сумарну кількість операцій додавання і множення. Найбільше практичне поширення набули алгоритми Кулі-Тьюки (*Cooley-Tukey*), які мають зручну структуру для програмної реалізації [3].

Алгоритми Кулі-Тьюки дозволяють організувати обчислювальний процес таким чином, щоб на кожній стадії обчислень результати розміщувалися в тих же осередках пам'яті, що і вхідні дані (так звані обчислення «на місці», *in-place*). Ця схема виявилася зручною в реалізації і набула широкого поширення.

Разом з тим обчислення ШПФ «на місці» має низку недоліків. Основний недолік пов'язаний з тим, що на кожній стадії дані з пам'яті потрібно зчитувати не послідовно, а в певному порядку. У деяких обчислювальних системах послідовне зчитування даних з пам'яті виконується швидше, ніж при довільному доступі до пам'яті; крім того, для довільного доступу потрібне використання адресної арифметики.

Для збільшення швидкодії ШПФ запропонована наступна ідея: обчислювальний процес потрібно організувати таким чином, щоб на кожній стадії дані для обробки можна було б зчитувати з пам'яті послідовно. Для цього на попередній стадії результати обчислень потрібно зберігати в необхідному порядку.

При реалізації цієї ідеї дані на різних стадіях обчислень будуть розташовані по-різному, тобто організувати обчислення «на місці» при даному підході не вийде. Тому для зберігання даних потрібно використовувати два буфера. У поточній стадії один з них використовується для вхідних даних, інший – для вихідних, на наступній стадії вони міняються місцями. У російській мові для позначення такого підходу часто застосовується термін «пінг-понг», англійською, по аналогії зі звичайною схемою, більш вдалим буде назва «*out-place*».

Стосовно до ШПФ можна реалізувати різні схеми типу «*out-place*». В даному випадку викладається один з можливих підходів до побудови таких схем, що дозволяє, отримати найбільш ефективні і прості в реалізації алгоритми.

Для викладу цього підходу відзначимо деякі моменти, що лежать в основі алгоритмів Кулі-Тьюки.

ДПФ для  $N$  точок, де  $N = M \times L$ , можна виконати більш ефективно в такий спосіб:

- вихідний масив з  $N$  елементів представляється у вигляді двовимірної матриці розміром  $M \times L$ ;
- обчислюються  $L$ -точкові ДПФ всіх стовпців;
- всі елементи матриці множаться на так звані множники, що повертають (*twiddle factors*);
- обчислюються  $M$ -точкові ДПФ усіх рядків;
- міняються місцями рядки і стовпчики з отриманням спектру сигналу.

Дана схема може застосовуватися рекурсивно, тобто в тому випадку, якщо  $L$  або  $M$  складене число, ДПФ рядків (або стовпчиків) також обчислюється за допомогою уявлення рядків (шпальти) у вигляді матриці.

У тому випадку, якщо  $N$  є ступенем двійки, рекурсивні обчислення можна реалізувати, залишаючи на кожній стадії стовпці (рядки) з двох елементів і виконуючи обчислення ДПФ для двох точок. Це буде алгоритм Кулі-Тьюки по підставі 2. Якщо на кожній стадії виконувати ДПФ для чотирьох точок, то вийде алгоритм по підставі 4.

Обмін рядків і стовпців після кожної стадії обчислень не дозволяє організувати обчислення «*in-place*», тому застосовується інший підхід – один раз до або після виконання основної операції (в залежності від того, для рядків або стовпців виконується доточкове ДПФ) виконується так звана біт реверсне сортування елементів. Відповідно розрізняють так звані алгоритми з проріджуванням по частоті і з проріджуванням по часу [2].

Розглянемо можливий варіант реалізації «*out-place*» алгоритму Кулі-Тьюки за основою 2.

На вході алгоритму ми маємо  $N$  точок вхідного сигналу,

$$N = 2^K,$$

де  $K$  - кількість стадій алгоритму.

На першій стадії представляємо вхідні дані у вигляді матриці з двох рядків. Перший рядок розташовується в першій половині буфера, другий рядок - у другій половині. Над елементами кожного стовпчика виконується двоточкове ШПФ, множаться потрібні елементи на повертаються множники і записуються у вихідний буфер в наступному рядку: перший елемент першого двоточкового ШПФ, другий елемент першого двоточкового ШПФ і далі елементи інших ШПФ. Графічно ця операція зображена на рис. 1 на ньому прямокутниками позначені буфери,

точками – комплексні числа, над якими виконується ШПФ, квадратами – операція двоточкового ШПФ з множенням на множник, що повертається. Буфери – це масиви, порядок даних в яких відповідає розташуванню точок зліва направо. Різниця в розташуванні точок по висоті не впливає на розташування чисел в пам'яті і введено лише для більш наочного викладу алгоритму. Для завершення ДПФ необхідно виконати ДПФ рядків, тобто ДПФ парних і непарних елементів (на рис. 1 вони обведені прямокутниками із закругленими кутами).

На другій стадії паралельно виконується ДПФ двох рядків, кожен з яких, в свою чергу, представляється у вигляді матриці з двох рядків. Перший рядок розташовується в першій половині буфера, другий – в другій половині. Над елементами кожного стовпчика виконується двоточкове ШПФ, множаться потрібні елементи на повертають множники і записуються у вихідний буфер в наступному порядку: перший і другий елемент першого двоточкового ШПФ першого рядка, перший і другий елемент першого двоточкового ШПФ другого рядка і далі елементи інших ШПФ. Для однакових елементів кожного з рядків, для яких виконується ДПФ, використовується один множник.

На кожній наступній стадії число рядків, над яким паралельно виконується ДПФ, подвоюється. На останній стадії в рядках залишається по два елементи, над якими виконується двоточкове перетворення. Після закінчення останньої стадії необхідно виконати біт-реверсне сортування.

У розглянутому алгоритмі дані на кожній стадії зчитуються в два потоки (з першої і другої половини буфера) і зберігаються в один потік, тобто дані зчитуються послідовно і не потрібне використання адресної арифметики.

Аналогічним чином можна побудувати «пінг-понг». Зчитування даних в цьому алгоритмі може проводитися в 4, а збереження в один потік; коефіцієнти для кожної четвірки чисел завантажуються один раз. За аналогією з алгоритмами проріджування за часом і по частоті, можна побудувати «пінг-понг» алгоритми, що зчитують дані в один потік, а зберігають у 2 або 4 потоку.

Розглянутий алгоритм був реалізований на процесорі *ARM Cortex-M3*. Час виконання перетворення Фур'є для 128 точок (вхід - комплексні 16-бітові цілі числа в форматі Q15 нормовані на половину діапазону, для запобігання переповнення після кожної стадії дані діляться на два) включаючи збереження контексту складала 1900 тактів (менше 15 тактів на точку). Цей результат на 20% швидше найкращого з відомих результатів (2400 тактів, менш 19 тактів на точку) для алгоритмів, що виконують обчислення «на місці» [3]. Схема реалізації наведена на рис. 2.

На перерахованих розмірах вибірки мікропроцесор *ARM Cortex-M3* дозволяє проводити обчислення ШПФ в режимі реального часу із затримкою необхідною для накопичення необхідного числа відліків дискретизованого сигналу. Реа-

лізований алгоритм ШПФ може бути використаний в якості базового при розрахунку частотно-тимчасових кореляційних функцій [4,5].

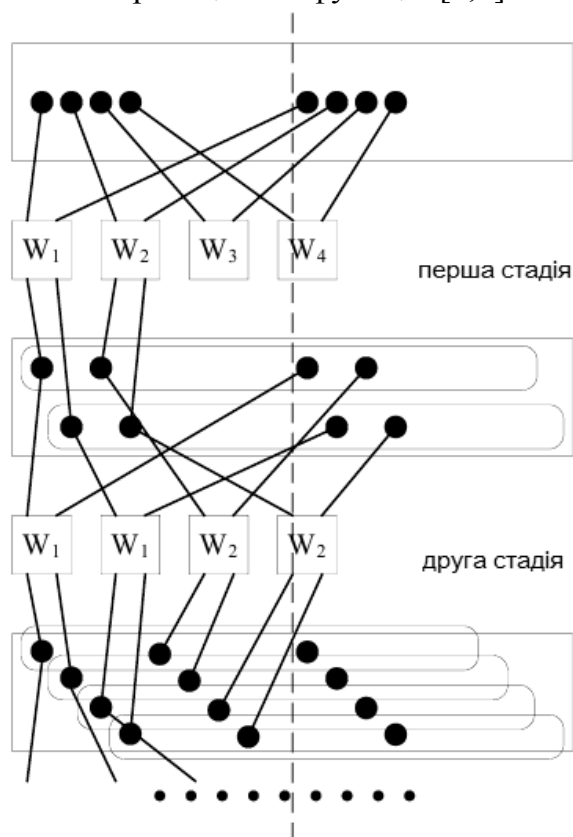


Рис. 1. Структура обробки даних

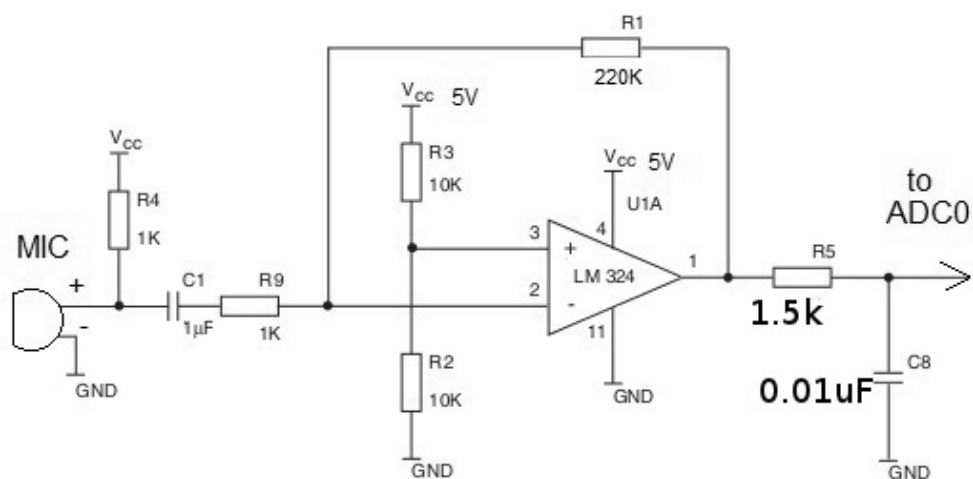


Рис. 2. Швидке перетворення Фур'є на ARM мікроконтролері

Результати отриманих даних наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Результат отриманих даних

Довжина перетворення	Час виконання, мкс	Час перетворення, мкм
8	327,7	317,7
16	467,9	455,8
32	688,6	667,5
64	1246,7	1160,2
128	2400	1900

Графічний результат виведено на діаграми, що представлені на рис. 3-4.

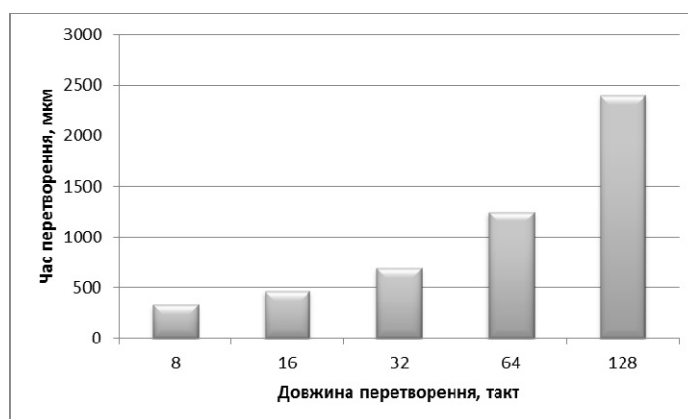


Рис. 3. Діаграма результату опрацювання, поточні значення

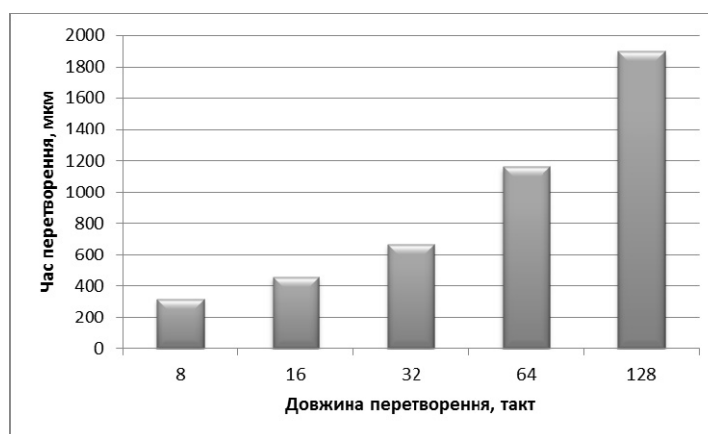


Рис. 4. Діаграма результату опрацювання, перетворення Фур'є.

Таким чином, алгоритми типу «пінг-понг» дозволяють отримувати в загальному випадку, більш швидкі і прості функції для обчислення спектрів сигналів.

Вони були використані при розробці функцій ШПФ математичної бібліотеки для процесорів на ядрах ZSP. Розроблені функції мають продуктивність на 10-20% вище оціночних значень продуктивності класичних алгоритмів.

## Висновки

У межах даної роботи здійснено синтез алгоритму цифрової фільтрації на основі математичного апарату швидкого перетворення Фур'є. На основі проведення досліджень варто зазначити, що для збільшення швидкодії ШПФ необхідно організувати таким чином, щоб на кожній стадії дані для обробки можна було б зчитувати з пам'яті послідовно. Для цього на попередній стадії результати обчислень потрібно зберігати в необхідному порядку.

Розглянутий алгоритм був реалізований на процесорі *ARM Cortex-M3*. Час виконання перетворення Фур'є для 128 точок (вхід - комплексні 16-бітові цілі числа в форматі Q15 нормовані на половину діапазону, для запобігання переповнення після кожної стадії дані діляться на два) включаючи збереження контексту склав 1900 тактів (менше 15 тактів на точку). Цей результат на 20% швидше найкращого з відомих результатів (2400 тактів, менш 19 тактів на точку) для алгоритмів, що виконують обчислення «на місці».

Таким чином, алгоритми типу «пінг-понг» дозволяють отримувати в загальному випадку, більш швидкі і прості функції для обчислення спектрів сигналів. Вони були використані при розробці функцій ШПФ математичної бібліотеки для процесорів на ядрах *ZSP*. Розроблені функції мають продуктивність на 10-20% вище оціночних значень продуктивності класичних алгоритмів.

### Список використаних джерел

1. Новиков И.Я. Основы теории всплесков / И.Я. Новиков, С.Б. Стечкин // Успехи математических наук. 1998. – №. 53. – № 6. – С. 9-13.
2. Петухов А.П. Введение в теорию базисов всплесков. / А.П. Петухов. - СПб.: Изд. СПбГТУ, 1999. – 131 с.
3. Martin Vatterli, Jelena Kovačević. Wavelets and Subband Coding. - Prentice Hall, New Jersey, 2007. – 522 p.
4. Лукин А. Введение в цифровую обработку сигналов. / А. Лукин. – М.: Наука, 2002. – 44 с.
5. Parkhomey I. Method for UAV trajectory parameters estimation using additional radar data. / V. Kozlovski, I. Parkhomey, R. Odarchenko // Methods and Systems of Navigation and Motion Control, 4<sup>th</sup> International conference 18-20 Oct. – 2016. - P. 19-20.



## **ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНІСТЬ МАТРИЦІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ**

*Анотація:* досліджено вплив міжнародних стандартів у сфері інформаційної безпеки на розвиток ключових підходів до прийняття управлінських рішень на основі розроблених критеріїв з урахування ймовірних ризиків. Пропонується модель та загальний механізм оцінювання інформаційних ризиків корпорації в хмарі з використанням вагових коефіцієнтів. Результати дослідження можуть бути використані при проведенні експертної оцінки інформаційної безпеки та ризиків хмарних технологій.

*Ключові слова:* ризик, оцінка ризиків, управління ризиками, хмарні технології, прийняття управлінських рішень.

### **Вступ**

Глобалізаційні процеси, що активно продукують нові підходи до організації взаємодії елементів в межах системи та між системами загалом на світових ринках, особливо важливо акцентують увагу на сучасних способах організації ефективної діяльності самих суб'єктів взаємодії. Актуальні розробки у IT-сфері призвели до необхідності використання хмарних обчислень світовими корпораціями з метою оптимізації та обґрунтування доцільності застосування хмарних технологій, адже змінюваність системи дозволяє швидко адаптуватися до вимог оточуючого середовища. Все більше корпорацій розглядають можливість переходу до хмарних технологій, які мають величезний потенціал.

Однак для того, щоб реалізувати переваги і отримати максимальну віддачу від своїх інвестицій, корпорації повинні брати до уваги різні проблеми і особливості впровадження хмарних IT-сервісів, їх унікальність для кожного конкретного випадку [1]. Ефективне впровадження сучасних інформаційних технологій передбачає імплементацію відповідних нормативно-правових документів, що регулюють правові норми, проблеми, ризики і способи їх мінімізації. Розробка та впровадження міжнародних стандартів в сфері безпеки інформаційних технологій необхідні для підвищення довіри до он-лайн операцій, фінансових транзакцій, оцінка ймовірності та визначення розмірів наслідків кібер-інцидентів та забезпечення програмної та технологічної сумісності серед торгових партнерів. Такі стандарти особливо важливі в сучасному інформаційному просторі, де продукти програмного забезпечення, процеси їх інтеграції та послуги із забезпечення функціонування цих продуктів, розробляються та поширюються у глобальному масштабі за допомогою поетапно спланованих послідовних операцій, які

приховують від споживача особливості хмарної інфраструктури провайдера. Для сфери хмарних обчислень особливу роль мають міжнародні стандарти, оскільки взаємодія споживачів та провайдерів хмарних послуг часто регулюється саме цими стандартами через географічну особливість розміщення суб'єктів системи знаходяться в різних країнах.

### **Постановка проблеми та актуальні розробки**

Потенційні порушення в сфері інформаційної безпеки є базовою основною перешкодою на шляху впровадження хмарних технологій на практиці управління адміністративними процесами. Проблема розробки ІТ-стратегії впровадження полягає в тому, що ще на стадії її формування важливо визначити, які моделі підтримки прийняття рішень при виборі хмарних ІТ-сервісів для впровадження в корпорації найбільше будуть задовольняти бізнес-стратегії корпорації, сумісність діючого способу організації взаємодії серед суб'єктів системи в корпорації, оцінити провайдерів хмарних послуг з точки зору надійності, достовірності, оперативності та безпеки інформаційних потоків.

Метою пропонованої статті є екстраполяція наявних аналітичних інтерпретацій управління ризиками хмарних технологій, зважаючи на міжнародні стандарти з ризиків інформаційної безпеки, та забезпечення інтертекстуальності моделей підвищення ефективності.

### **Аналіз стандартів в галузі хмарних технологій**

Для об'єктивного оцінювання інформаційних ризиків використовують підходи, в основі яких закладені міжнародні стандарти з ризиків інформаційної безпеки. Враховуючи динаміку глобального інформаційного простору та частоту загроз, що виникають у ньому, з'являються нові дослідження оцінювання ефективності та поточного стану стандартів в сфері хмарних обчислень [7, 8].

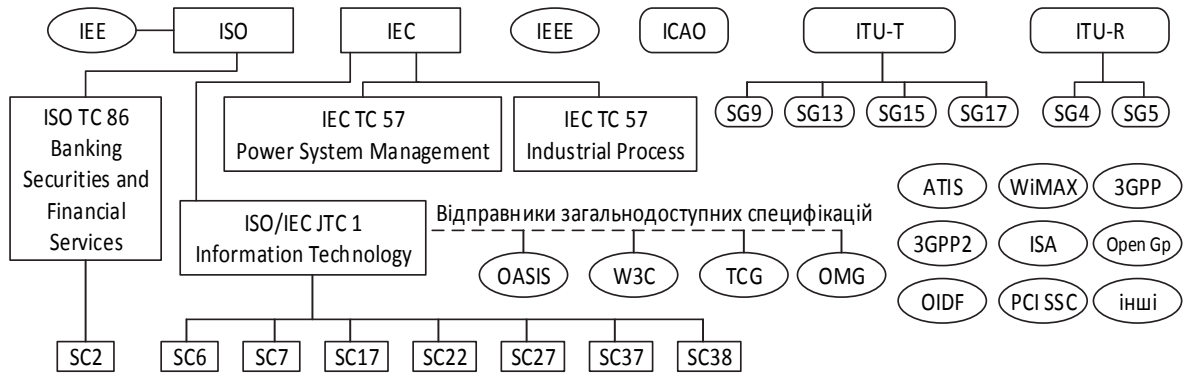
Відповідно до існуючої класифікації стандартоутворюючих корпорацій та органи мають наступну ієрархію рівнів:

- Міжнародний (ISO / IEC [7], ITU [10]);
- Міждержавний (форуми і консорціумами [4]);
- Регіональний (європейські CEN / CENELEC [6]);
- Національний (державні закони та стандарти, відомчі нормативні документи, керівництва, інструкції та ін. [5, 9]).

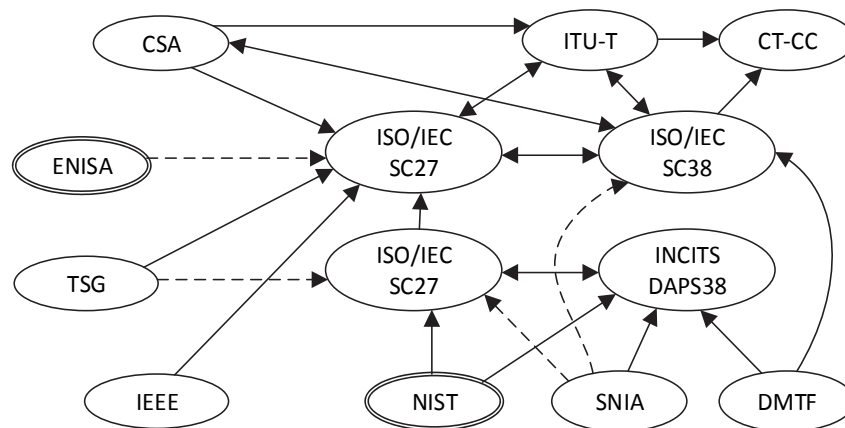
З причин відсутності міжнародних стандартів по сертифікації елементів хмарної інфраструктури та актуальності інформаційної безпеки елементи (дата-центри, канали і мережі комунікацій та інші) використовують сертифікати безпеки стандартів, як між-

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 2' (33) 2018 народних, так і інших країн, суміжних напрямків.

Міжнародні корпорації, які займаються стандартами в сфері інформаційної безпеки [9], представлені на рис. 1. В кожній країні також існують регіональні корпорації і відомства, що займаються розробкою нормативних документів у сфері інформаційної безпеки. На рис. 2 представлена схема взаємодії міжнародних і регіональних стандартоутворюючих корпорацій в сфері хмарних технологій [6].



**Рис. 1.** Міжнародні корпорації, приймаючі участь в розробці міжнародних стандартів в галузі інформаційної безпеки хмарних технологій



**Рис. 2.** Схема взаємодії між регіональними та міжнародними стандартоутворюючими корпораціями

### Аналіз структури ризиків втрати інформації

При визначенні ризику ключовими поняттями є «ступінь невизначеності», «характеристика майбутнього», «наявність можливості», «величина ймовірності», «розмір збитків», «вид діяльності», «доцільність вибору» і є спільними характеристиками для продукування належного рівня інформаційної безпеки, незалежно від сфери застосування. Існування ризику пов'язано з неможливістю гарантувати з високою ймовірністю відсутності витоку інформації або порушення інформаційної безпеки.

Ризик виникає як наслідок прийняття рішень відносно стану ситуації та прагматично є фундаментом для появи причинно-наслідкового зв'язку «рішення-результат». Існує два підходи до оцінки величини ризику: *об'єктивний* та *суб'єктивний*.

В основі встановлення об'єктивної міри ризику покладено дані про попередні втрати, гіпотези про тенденції, стани та можливі сценарії розвитку, імовірності втрат сьогодні і прогнозування їх в майбутньому. Оскільки невизначеність є джерелом ризику, то для його зменшення необхідно нівелювати рівень невизначеності, тобто перевести невизначеність у повну визначеність шляхом отримання достовірної, надійної та комплексної інформації у даний момент часу.

Згідно чинного законодавством України, інформація є об'єктом права власності, а також об'єктом володіння, використання та розпорядження. Інформаційні ризики слід розглядати і враховувати на рівні з економічними [3]. Детальну класифікацію інформаційних ризиків наведено на рис. 3.

Керувати ризиком означає застосовувати дії, направлені на підтримання такого його рівня, що відповідає меті управління корпорацією.

Процес аналізу ризиків складається з етапів:

– визначення видів ризиків, існуючих або тих що можуть виникнути та впливати на діяльність корпорації;

– оцінки впливу на діяльність корпорації та оцінки ймовірної шкоди, що може бути заподіяна внаслідок реалізації того або іншого ризику.

Основні задачі управління ризиком:

– підтримка ризику заданому рівні, що не перевищує допустимий;

– нівелювання ризику при заданих умовах.

Серед методів оцінки ризику варто розглянути наступні:

– кількісні – використовуються об'єктивні дані, що дозволяють визначити вартість активів, рівень ймовірних втрат тощо;

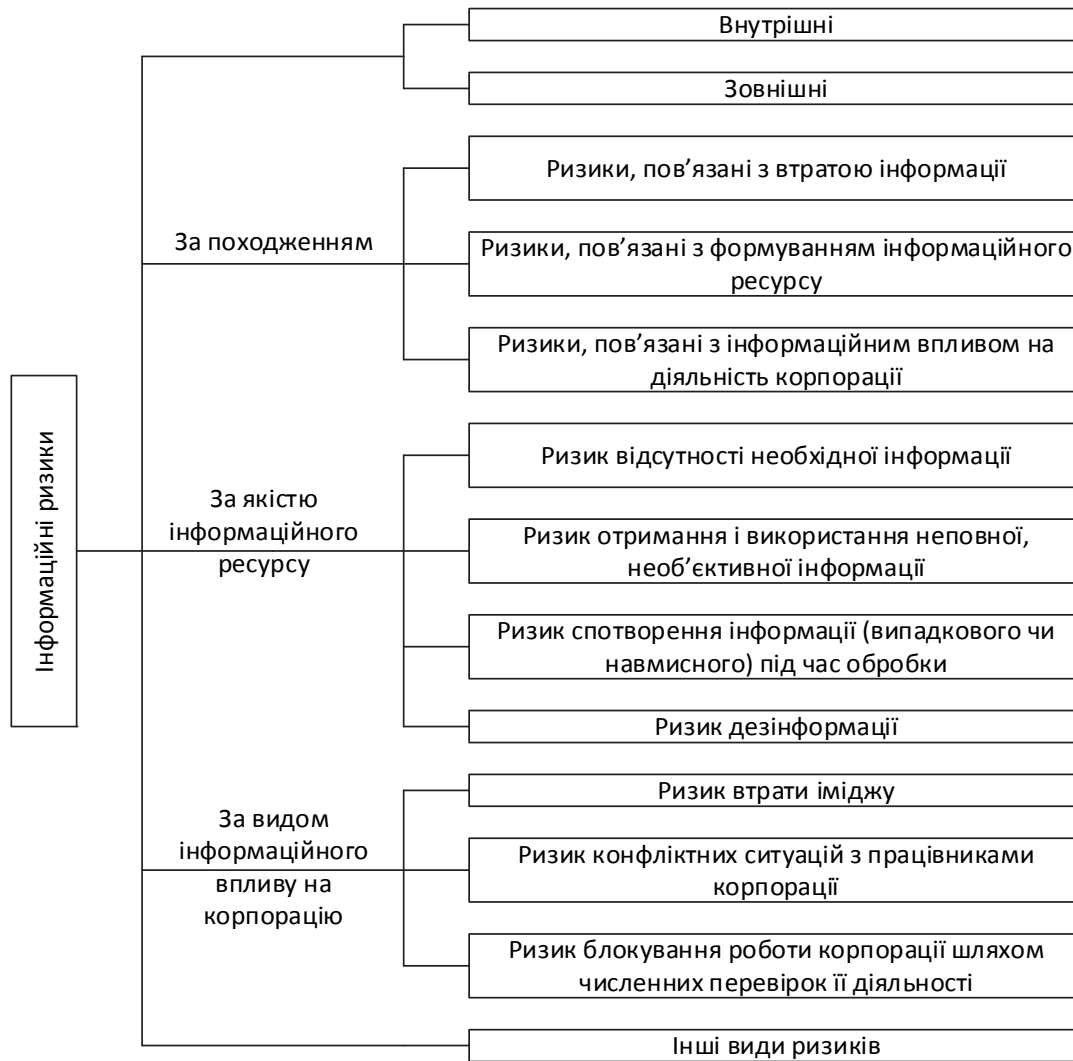
– якісні – використовується відносний показник ризику або вартості активу;

– змішані – комбінація кількісного і якісного методу, сукупність переваг і недоліків вище згаданих методів.

Для управління інформаційними ризиками потрібно ідентифікувати і оцінити всі можливі загрози інформаційній системі. Найчастіше для розрахунку ризиків використовується формула [2]:

$$AV * EF * ARO = ALE, \quad (1)$$

де *AV* (*Asset Value*) – вартість ресурсу; *EF* (*Exposure Factor*) – міра уразливості ресурсу до загрози; *ARO* (*Annual Rate of Occurrence*) – оцінка ймовірності реалізації загрози; *ALE* (*Annual Lost Exposure*) – підсумкові очікувані втрати від конкретної загрози за певний період часу.



**Рис. 3.** Класифікація інформаційних ризиків

Припустимо, що для  $n$  активів задана відносна вартість кожного –  $a_j$  ( $j = 1, n$ ). Крім того, задано  $c_{ij}$  – вплив вразливості  $v_i$  на актив  $a_j$ . Тоді сукупний вплив вразливості  $v_i$  на активи корпорації обчислюється за формулою:

$$V_i = \sum_{(i-1)}^n v_{ij} * C_j. \quad (2)$$

Нехай є  $p$  загроз, які впливають на  $V$  вразливостей, а  $d_{ki}$  – це потенціал впливу загрози  $t_k$  уразливості  $v_i$ . Тоді відносний сукупний вплив загрози  $T_k$  визначається як:

$$T_k = \sum_{(i-1)}^m d_{ki} * V_i. \quad (3)$$

Для усунення впливу загроз є  $q$  засобів управління, які можуть пом'якшити  $p$  їх загроз, а  $e_{0l}$  – вплив засобів контролю  $Z_0$  на загрозу  $t_k$ . Тоді відносний сукупний вплив засобів контролю  $Z_0$  визначається за формулою:

$$Z_0 = \sum_{(i-1)}^p e_{0l} * T_l. \quad (4)$$

Модель формування ризиків втрати інформації повинна:

- враховувати найбільшу кількість впливових факторів;
- дозволяти розраховувати ймовірність виникнення вразливостей та реалізації загрози;
- вирахувати часові межі для реалізації загроз і наслідки у вигляді збитків;
- визначати доцільність застосування запропонованих засобів захисту з оцінкою ступеня захищеності системи.

Моделювання та отримання цих показників дозволяє корпорації прийняти рішення щодо безпеки інформації в інформаційно-обчислювальній системі корпорації, а саме управляти ризиками інформаційної безпеки.

Майже в усіх методиках базою для визначення рівня ризику є допустимість появи тієї чи іншої події, яка визначає рівень ймовірності реалізації загрози. В основу методик визначення ймовірності найчастіше закладається експертний метод або використовується дані статистики попередніх періодів.

Для розробки моделі управління ризиками інформаційної безпеки корпорації необхідно вибрати таку модель або комбінацію моделей, яка б включала в себе визначення, збір та обробку даних про результуючі фактори, які притаманні системі, та дозволяє з високим рівнем ймовірності визначити найгірший сценарій для реалізації загрози. Дана модель має бути адаптивною та оперативно змінюватись з урахуванням вихідних результатів (кількості користувачів, кількості обладнання, швидкості каналу передачі даних тощо).

Етапи роботи розробленої інформаційно-аналітичної системи

Процес вибору хмарних ІТ-сервісів складний, погано формалізований і слабо структурований. Для прийняття обґрунтованого рішення для впровадження хмарних ІТ-сервісів в корпорації необхідно зібрати дані та провести їх аналіз для визначення витрат і вигод, результативності та ризиків від їх застосування. Результатом буде отримано набір даних для попереднього аналізу та оцінки інформаційних ризиків. За результатами оцінки отримуємо ваговий коефіцієнт для кожного провайдера, на основі якого приймається рішення про впровадження.

### **Етап 1. Збір даних**

Матрична методологія базується на трьох матрицях: *загроз*, *вразливостей* і *контролю*, за допомогою яких збираються дані для аналізу ризиків [11]. Матриця вразливостей (табл. 2) показує кореляційний зв'язок між активами і вразливостями, матриця загроз (табл. 3) відображає причинно-наслідковий зв'язок вразливостей та загроз, а матриця контролю (табл. 4) демонструє співвідношення між загрозами і засобами управління. Значення, отримане в результаті аналізу, в кожній відповідній комірці матриці

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 2' (33) 2018 характеризує цінність відношення між елементом рядка і стовпця. Використовується така система оцінок: *низька, середня, висока*, тощо (табл. 1).

Таблиця 1. Шкала оцінок

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
немає впливу	слабкий вплив	...	помірний вплив	...	...	...	...	...	сильний вплив

В процесі первинного аналізу формуються списки активів, вразливостей, загроз і засобів управління. Матриці заповнюються даними про взаєзв'язок елемента стовпця матриці з елементом рядка. Дані з матриці вразливостей переносяться в матрицю загроз, а потім дані з матриці загроз заносяться в матрицю контролю.

Таблиця 2. Матриця вразливостей

Вразливості	Активи і витрати	Публічна інформація	Конфіденційна інформація	Фінансова інформація	Службова інформація	Репутація	Витрати на відновлення	Апаратні засоби	Програмне забезпечення	Обслуговування
Веб-сервер										
Обчислювальний сервер										
Брандмауер										
Маршрутизатор										
...										

Таблиця 3. Матриця загроз

Вразливості	Загроза	Відмова в обслуговуванні	Шкідливий код	Помилки користувача	Внутрішні атаки	Стам	Фізичне пошкодження апаратних засобів	Апаратні засоби
Веб-сервер								
Обчислювальний сервер								
Брандмауер								
Маршрутизатор								
...								

Перший етап передбачає аналіз наявної вхідної інформації: визначення високорівневих вимог бізнесу; визначення моделі хмарного сервісу та моделі розгортання; дані про провайдерів і додатках.

Наприклад, такими вихідними даними можуть бути: кількість трафіка, що буде витрачено; тип шифрування, який використовується; фінансові витрати; необхідна вимога щодо потужності (можливості) сервера; та інші додаткові сервіси.

Таблиця 4. Матриця контролю

Засоби контролю	Загроза	Відмова в обслуговуванні	Шкідливий код	Помилки користувача	Внутрішні атаки	Спам	Фізичне пошкодження апаратних засобів	Апаратні засоби
Брандмауер								
Система виявлення вторгнення								
Навчання персоналу								
Політика безпеки								
...								

## Етап 2. Оцінка

На наступному етапі визначається відповідність обраним критеріям, використовуючи формули (2), (3) та (4), і тим самим визначається доцільність вибору корпорацією того чи іншого провайдера. Таким чином, проводиться аналіз можливості переходу до хмарних технологій на основі визначених вагових коефіцієнтів для порівняння з іншими наявними альтернативами.

## Етап 3. Перевірка параметрів

Аналіз можливих загроз і аналіз ризиків є основою для обґрунтування вибору заходів щодо забезпечення інформаційної безпеки інформаційних систем хмарних обчислень, які необхідні для зниження ризику до прийнятого рівня.

На базі загальної системи оцінки вразливостей CVSS (*Common Vulnerability Scoring System*), що дозволяє визначити якісний показник схильності вразливостям з урахуванням факторів навколишнього середовища, розроблена методика кількісної оцінки потенційних вразливостей для різних типів розгортання хмарних середовищ.

Запропонований підхід до аналізу та управління ризиками дозволяє оцінити захищеності хмарного середовища, що функціонує в умовах впливу заданого класу загроз, а також ефективності комплексу заходів і засобів протидії цим загрозам. На осно-



ві такої оцінки з'являється можливість вибору варіанту конфігурації середовища хмарних обчислень і найбільш прийняттого варіанту з точки зору безпеки. Загальна система оцінювання вразливостей CVSS в даний час досить широко застосовується і все більше набуває вигляду стандарту для визначення оцінки вразливостей [12].

Основне завдання системи полягає в оцінці рівня вразливостей і надання рекомендацій щодо зменшення впливу наслідків прояви пов'язаних загроз. Слід зазначити, що загальна система обліку вразливостей є інструментом для аналізу характеристик і впливу вразливостей, незалежно від вендора (постачальника) програмного забезпечення, тому може бути використана для класифікації вразливостей хмарних середовищ.

На цьому етапі, на основі проаналізованих даних, експерт вибирає хмару (сервер), яка є найбільш оптимальним варіантом та відповідає встановленим критеріям. У випадку ймовірної часткової або повної невідповідності вибраного варіанту, експерт повертається на етап «Збір даних» та вносить зміни відповідно до критеріїв.

#### Етап 4. Оголошення

На четвертому етапі на основі графіку кореляції величини збитку та ймовірності події (та запропонованого експертом оптимального варіанту) команда починає обговорення обґрунтованої пропозиції щодо розробки стратегії рішень відповідно до цього варіанту.

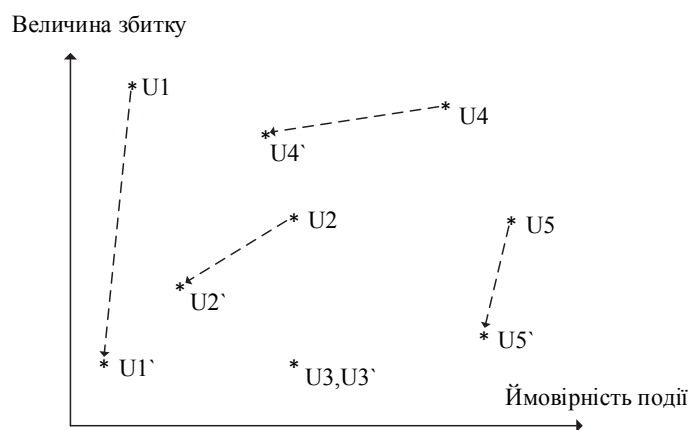


Рис. 4. Регресійна модель оцінки ризику

Регресійна модель такого типу дозволяє оптимально відстежити наявний та прогнозований рівень ризику переходу до хмарного середовища, оскільки відображає зміну діючої моделі на пропоновану.

На четвертому етапі йде компаративний аналіз отриманих результатів, та їх вхідні дані для обговорення рішення експерта разом з членами команди. Якщо пропозиція підтримується більшістю учасників та зацікавлених сторін, то переходять до етапу

впровадження в корпорації.

### Висновки

На основі проведеного компаративного аналізу варто зазначити, що переваги використання хмарних технологій превалюють над недоліками. Хоча, особливу увагу варто акцентувати на нівелюванні ризиків, тобто розробці моделі управління ризиками, що демонструє процес становлення ризику на основі сценаріїв розвитку ситуації з урахуванням можливостей внесення корективів на кожному етапі. Утім, заглиблюючись у вивчення міжнародних стандартів, сучасний стан справ демонструє зацікавленість світовими суб'єктами в уніфікації розроблених міжнародних стандартів, визначенні загальних критеріїв для систематизації та класифікації ризиків, організації ефективної взаємодії членів команди, підбору висококваліфікованих експертів. Запропонований матричний підхід до оцінки ймовірності мінімізації інформаційного ризику переходу до хмарного середовища дозволяє оптимізувати ефективність управління ризиками.

### Список використаних джерел

1. Арефьев Н. IaaS, PaaS, SaaS. Раздел территории между провайдерами и клиентами облачных сервисов // Защита виртуальных сред и облачных вычислений Jet Info №5, май 2013 г. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.jetinfo.ru/author/nikolaj-arefev/iaas-paas-saas-razdel-territorii-mezhdu-provajderami-i-klientami-oblachnykh-servisov>. Дата обращения: 12.03.2014.
2. Вуколов В. Інформаційні ризики в державному управлінні — [http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/Patp/2010\\_2/10vvvrdu.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/e-journals/Patp/2010_2/10vvvrdu.pdf).
3. Завгородний В.И. Парадигма информационных рисков — [http://www.fakit.ru/main\\_dsp.php?top\\_id=591](http://www.fakit.ru/main_dsp.php?top_id=591).
4. D:A-5.1 Report on A4Cloud contribution to standards. Version 1.1. Deliverable Lead Organisation [Electronic resource] // Cloud Accountability Project (CSA). – Access mode: [http://www.a4cloud.eu/sites/default/files/D15.1 Report on A4Cloud contribution to standards.pdf](http://www.a4cloud.eu/sites/default/files/D15.1%20Report%20on%20A4Cloud%20contribution%20to%20standards.pdf). – 24.11.2015.
5. Department of defense (DoD). Cloud computing security requirements guide (SRG). Version 1, Release 1. – impl. 12.01.2015. – Developed by the Defense Information Systems Agency (DISA) for the Department of Defense (DoD), 2015. – 152 p.
6. Hibbard, E. A. Latest in Cloud Computing Standards [Electronic resource] // Eric A. Hibbard. – Access mode: <http://www.slideshare.net/rnewton>. – 24.11.2015.
7. ISO/IEC 17788:2014 Information technology - Cloud computing - Overview and vocabulary [Text]. – impl. 15.10.2014. – Brussels : European Committee for Electrotechnical Standardization, 2014. – 16 p.
8. ITU-T. FG Cloud TR. Version 1.0. (02/2012). Part 6: Overview of SDOs involved

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 2' (33) 2018  
in cloud computing. [Electronic resource] // Switzerland, Geneva. – Access mode:  
[http://www.itu.int/dms\\_pub/itu-t/opb/fg/T-FG\\_CLOUD-2012-P6-PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/fg/T-FG_CLOUD-2012-P6-PDF-E.pdf). – 24.11.2015.

9. NISTIR 8074 Volume 2 (Draft) Supplemental Information for the Report on Strategic U.S. Government Engagement in International Standardization to Achieve U.S. Objectives for Cybersecurity [Electronic resource] // National Institute of Standards and Technology. – Access mode: [http://csrc.nist.gov/publications/drafts/nistir8074/nistir\\_8074\\_vol1\\_draft\\_report.pdf](http://csrc.nist.gov/publications/drafts/nistir8074/nistir_8074_vol1_draft_report.pdf). – 24.11.2015.

10. Recommendation ITU-T Y.3511. Framework of inter-cloud computing [Text]. – impl. 09.03.2014. – Geneva : International Telecommunication Union, 2014. – 46 p.

11. Юнкерова Ю.И. Экономико-математические методы управления информационными рисками // Петербургский экономический журнал. 2014. № 1. С. 59-64.

12. NVD Common Vulnerability Scoring System Support, vol. 2. Available at: <http://nvd.nist.gov/cvss.cfm?calculator&version=2>.

УДК 621.398.96

## **СИСТЕМА АДАПТАЦІЇ ДО ЗА КРИТИЧНИХ УМОВ КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ**

*Анотація:* в даній статті запропоновано удосконалення системи керування польотом (СКП) безпілотним літальним апаратом (БПЛА). В сучасних умовах вимоги до СКП підвищуються у зв'язку із застосуванням БПЛА в закритичних умовах керування. Удосконалення СКП БПЛА полягає у необхідності надійного і своєчасного забезпечення доставки БПЛА у заданий район.

*Ключові слова:* система керування польотом, пеленг об'єкту, адаптивні команди керування.

### **Вступ**

Останнім часом БПЛА знайшли своє завойовування у різних сферах цивільного життя. Вони почали застосовуватись у картографії (дронкартографія), для захисту дикої природи, в сільському господарстві, «полюванні» на негативні природні явища, рятуванні, у якості «кур'єра», ЗМІ тощо.

Одним із критеріїв оцінки якості застосування БПЛА є точність виведення його на об'єкт. Що забезпечується СКП БПЛА. І в сучасних умовах вимоги до СКП підвищуються у зв'язку із застосуванням БПЛА в закритичних умовах керування.

Тому, актуальність задачі удосконалення СКП БПЛА полягає у необхідності надійного і своєчасного забезпечення доставки БПЛА у заданий район.

### **Постановка задачі**

Вирішення задачі підвищення ефективності застосування БПЛА зводиться до удосконалення СКП, які застосовуються на існуючих БПЛА. Розроблені раніше оптимальні алгоритми функціонування СКП БПЛА достатньо ефективні при виконанні жорстких вимог по точності вимірювання параметрів траєкторії.

Метою роботи є підвищення ефективності застосування БПЛА шляхом забезпечення необхідної точності наведення в закритичних умовах керування (інформаційної невизначеності). Для реалізації поставленої мети в роботі вирішуються наступні наукові задачі:

– розроблена методика ідентифікації вхідної ситуації і виробітки керуючих рішень у системі керування польотом БПЛА із використанням апарата нечіткої математики;

– розроблені алгоритми керування польотом БПЛА, що забезпечують необхідну імовірність забезпечення доставки БПЛА у заданий район (ціль) в умовах обмеженого об'єму інформації про параметри траєкторії на борту БПЛА.

Рішення поставлених задач здійснювалося на основі системного підходу з

використанням аналітичних методів технічної кібернетики, динаміки польоту БПЛА, із використанням математичного апарата операторів, що зрівнюють, теорії математики нечітких множин, теорії чисельних методів моделювання на ЕОМ.

Для одержання кількісних результатів і оцінки ефективності синтезованої СКП БПЛА використовувалася математична модель СКП БПЛА на ПЕОМ.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що:

- удосконалена методика ідентифікації вхідної ситуації і виробітки керуючих рішень у СКП БПЛА із використанням апарата нечіткої математики;
- удосконалено алгоритми керування польотом БПЛА, що забезпечують необхідну імовірність доставки БПЛА у заданий район в умовах обмеженого об'єму інформації про параметри траєкторії на борту БПЛА;
- одержала подальший розвиток методика синтезу алгоритмів керування польотом БПЛА, що дозволяє реалізувати розроблені алгоритми на математичній моделі з оцінкою працездатності й ефективності синтезованої СКП БПЛА.

Практичну значимість роботи представляють:

- алгоритми керування польотом БПЛА в умовах обмеженого об'єму інформації про параметри об'єкту (цілі) на борту БПЛА;
- структурні схеми пристроїв, що реалізують розроблені алгоритми;
- методика дослідження працездатності й ефективності синтезованої СКП БПЛА;
- рекомендації по використанню розроблених алгоритмів керування БПЛА і результати математичного моделювання.

Відзначається, що підвищення ефективності застосування БПЛА в закритичних умовах керування обмежується складністю технічної реалізації отриманих оптимальних алгоритмів керування польотом через відсутність усієї необхідної інформації на борту БПЛА, що, у свою чергу, обумовлено інформаційною невизначеністю про об'єкт.

Таким чином, задачею дослідження є підвищення точності наведення БПЛА в умовах обмеженого об'єму інформації.

У якості об'єкта дослідження обрана СКП БПЛА. Характеристика контуру керування польотом, що реалізує метод пропорційного зближення дана в роботі [1].

Керуючись основними принципами системного підходу, за критерій ефективності СКП БПЛА прийнята імовірність доставки БПЛА у заданий район за оптимальною траєкторією. Стосовно до розв'язуваної задачі приріст імовірності  $\Delta P_1$  визначається виразом:

$$\Delta P = \frac{P_1 - P_{1шт}}{P_{1шт}} * 100\% \quad (1)$$

де  $P_1$  - імовірність доставки БПЛА к заданий район за оптимальною траєкторією

із синтезованою СКП БПЛА; Р1шт- імовірність доставки БПЛА в заданий район з вихідною (штатною) СКП БПЛА.

Отже, цільова функція буде мати вид:

$$i = \max_{th} a1(th), \quad (2)$$

де  $th$  - математичне чекання промаху БПЛА.

Динаміка СКП, з обліком прийнятих допущень, описується наступним рівнянням:

$$\tau y'' + (3 - \tau)y' + (kV/d - 2)y = V\Delta\Theta/D, \quad (3)$$

де  $\tau = D/DT$  - безрозмірний час, що відраховується від моменту доставки БПЛА В заданий район в зворотному напрямку;

$$n = k/D - 2 \quad (4)$$

$y = VL$ ,  $\Delta\Theta/D = \text{const}$  - часткове рішення рівняння (3).

Рівняння (3), коли параметр  $k$  є цілим і позитивним числом, дозволяє одержати рішення в загальному виді:

$$y(\tau) = Y1(\tau, \tau0) \cdot y0 + Y2(\tau, \tau0) + y0 + [1 - Y1(\tau, \tau0)] \cdot \bar{y}, \quad (5)$$

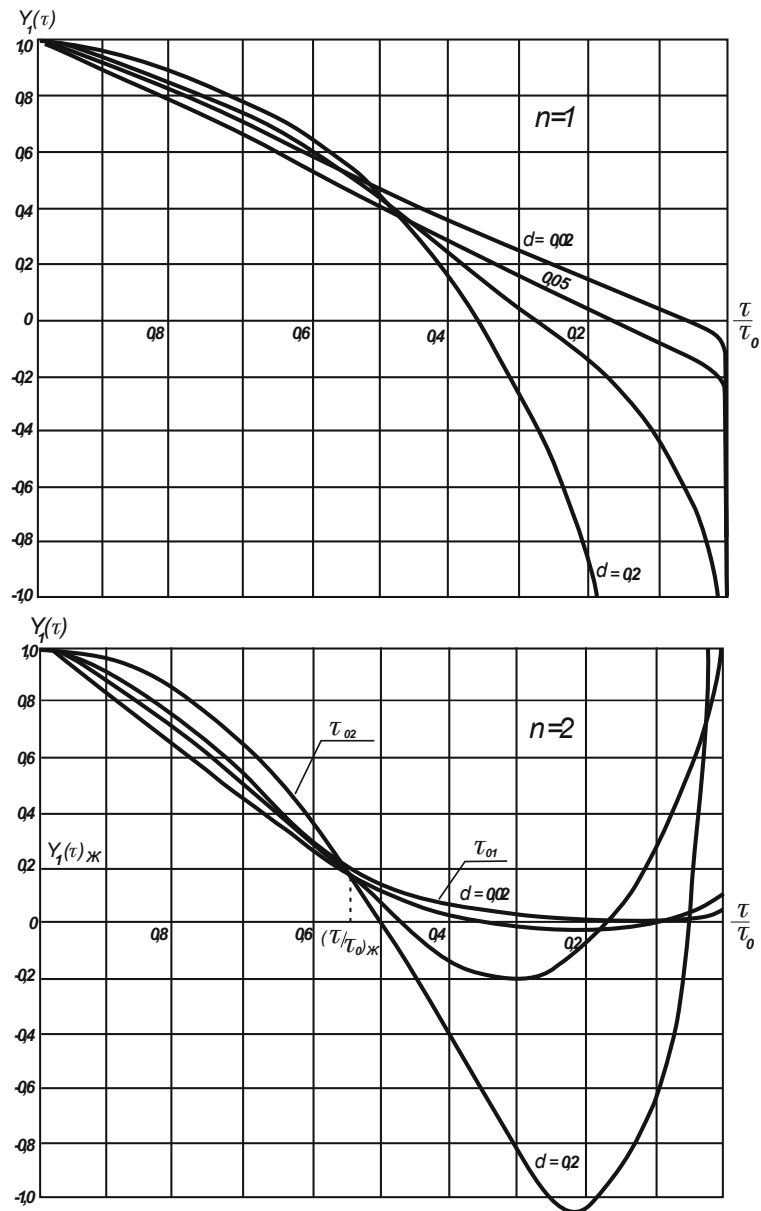
де функції  $Y1(\tau, \tau0)$ ,  $Y2(\tau, \tau0)$  залежать від початкових умов СКП.

На рисунку 1 зображено сімейство кривих перехідних процесів СКП, з якого видно, що якість її функціонування, в значному ступені, залежить від параметрів відносного руху БПЛА і об'єкту (цілі) та зокрема, від часу польоту. З рисунку 1 видно, що система має кращим показники якості при великих значеннях  $\tau0$ . Обравши в якості бажаної одну із сімейства можливих траєкторій, наприклад, із  $\tau01$ , що проходить через точку з координатами  $Y1(\tau, \tau0)ж$ ,  $(\tau/\tau0)ж$ , можна забезпечити рух системи по заданій траєкторії і для довільних значень  $\tau$ . Для цього необхідно здійснити переведення системи в просторі фазових координат у момент часу  $t=(\tau/\tau0)ж$  на дану траєкторію шляхом зміни початкових умов.

Методика синтезу адаптивних алгоритмів керування містить у собі наступні етапи:

- визначення рівняння динаміки об'єкта оптимізації;
- оцінка обмежень, накладених на об'єкт керування;
- визначення руху системи, що задовольняє необхідному критерію якості функціонування системи;
- розрахунок умов, що забезпечують рух системи по обраній траєкторії;
- аналіз отриманих результатів, оцінка їхньої точності і достовірності.

Проведені дослідження синтезованих по запропонованій методиці алгоритмів керування польотом БПЛА показали, що їх використання забезпечує зменшення ділянки наведення на об'єкт (ціль) в порівнянні зі штатною СКП БПЛА, дозволяючи скоротити відхилення від заданого району.



**Рис. 1.** Перехідні процеси в СКП.

СКП працює в умовах інформаційної невизначеності, а отже, може бути оптимізована з використанням апарату теорії нечітких множин. Зокрема, теорію адаптивних алгоритмів, що реалізуються нечіткими логічними регуляторами і використовують евристичні правила прийняття рішень.

Узагальнена структура СКП з нечітким логічним регулятором та логіка її роботи приведена на рис.2-4, де:

- функцію виробітки керуючих впливів виконує блок виробітки керуючих впливів;
- функцію збору даних від датчиків - блок оцінки станів і функції навчання;
- збереження даних і виробітки керуючих рішень - блок прийняття рішень.

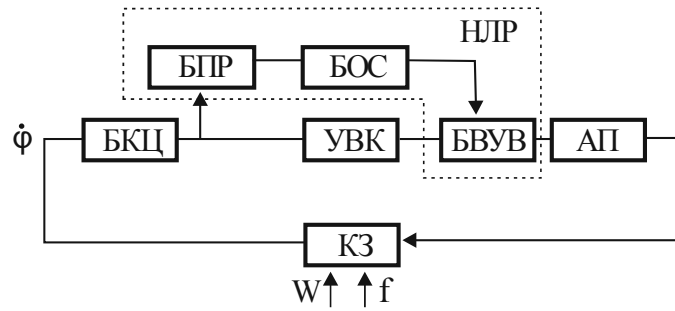


Рис. 2. Структурна схема СКП з нечітким логічним регулятором.

Блок оцінки станів на основі інформації, що надходить на вхід об'єкта регулювання будує формалізований опис виниклої ситуації. Для оцінки семантики нечітких понять використані лінгвістичні перемінні, при цьому кожному нечіткому поняттю ставиться у відповідність нечітка множина по детермінованій функції приналежності.

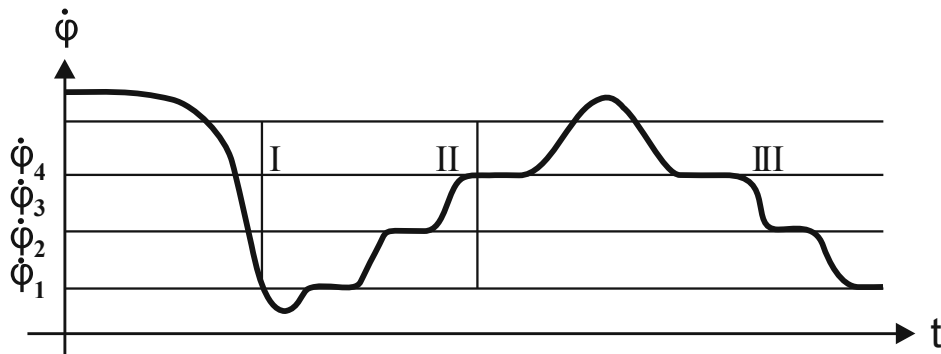


Рис. 3. Алгоритм роботи НЛР

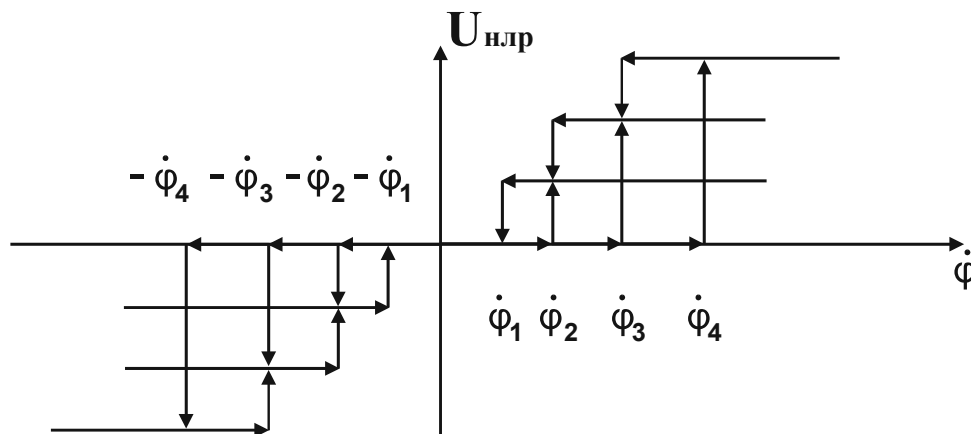


Рис. 4. Логіка роботи БПР

Всі можливі стани об'єкту керування описуються набором типових ситуацій, кожна з яких представляє сукупність лінгвістичних значень ознак. Таким чином, стан об'єкту керування описується набором ознак.



Траєкторія БПЛА прогнозується по обмірюваних значеннях кутової швидкості лінії візування БПЛА - об'єкт, при цьому маневр БПЛА, що фактично є безупинною функцією, розділений на сім рівнів, що обумовлено флуктуаційними помилками вимірів.

У даній системі не дається однозначного висновку по фактичним даним, а вводиться нечіткість, що виражається показником достовірності по кожному рівню за допомогою відповідної функції приналежності.

На рисунку 5 приведена функція приналежності ознаки "Кутова швидкість лінії візування БПЛА - об'єкт, побудована з використанням прямого методу.

При визначенні стану об'єкта керування вхідна нечітка ситуація  $so$  порівнюється з набором типових нечітких ситуацій  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ . У якості міри для визначення ступеня близькості нечіткої ситуації  $\hat{s}_i \in S (i \in K = \{1, 2, \dots, N\})$  використовується ступінь нечіткого вмикання ситуації  $\hat{s}_o$  в нечітку ситуацію  $\hat{s}_i$ .

В основу функціонування блока прийняття рішень нечіткої моделі СКП БПЛА покладений принцип визначення по системі продукцій, необхідних при даній вхідній ситуації керуючих рішень. Продукційна система ставить у відповідність кожній ситуації  $\hat{s}_i$  з типового набору ситуацій  $S$ , що характеризує всі можливі стани об'єкта керування, деяке керуюче рішення  $R_i$ .

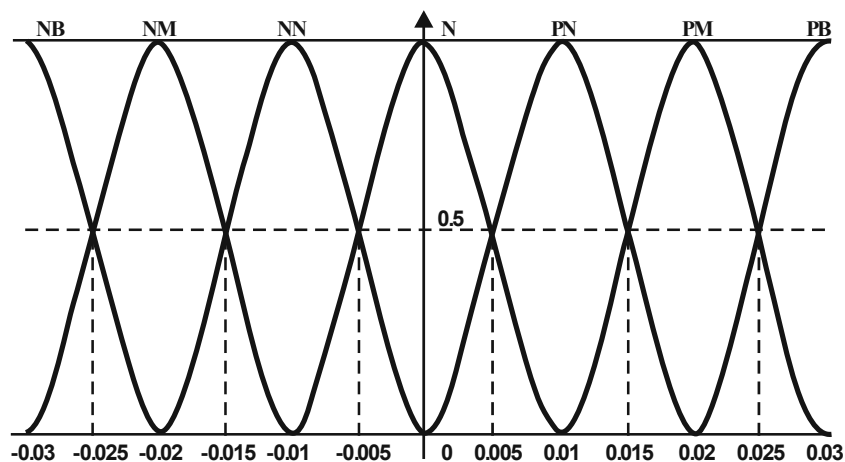


Рис. 5. Функція приналежності

Після визначення продукції, що відповідає поточному стану об'єкта керування, тобто має в якості умови істинності еталонну нечітку ситуацію, визначається нечітка ситуація, у яку переходить об'єкт керування під впливом заданих керуючих рішень. Для цього виконується композиція поточної нечіткої ситуації і нечітких відношень, що описують керуючі рішення в знайдений продукції і реалізованих у БЦОМ БПЛА.

Далі визначається різниця між кількісними значеннями ознак і поточною ситуацією, що і задає необхідні для переходу кількісні зміни значень ознак поточної ситуації.

Нечітка модель алгоритмів керування, що реалізуються у СКП БПЛА має вид:

R1: if/  $\varphi_l=PB$ , then (ifF = 0), then  $S_i = SPB$  and  $P = f(K1, K1, K1)$  and  $F = 1$ ;

R2: if/  $\varphi_l=PM$ , then (ifF = 0), then  $S_i = SPB1$  and  $P = f(K1, K1, K1)$  and  $F = 5$ ;

R3: if/  $\varphi_l=PN$ , then (ifF = 0), then  $S_i = SPN1$  and  $P = f(K1, K1, K1)$  and  $F = 0$ ;

R4: if/  $\varphi_l=N$ , then (ifF = 0), then  $S_i = SN$  and  $P = f(K1, K1, K1)$  and  $F = 1$ ;

R5: if/  $\varphi_l=NN$ , then (ifF = 0), then  $S_i = SNN$  and  $P = f(K1, K1, K1)$  and  $F = 0$ ;

R6: if/  $\varphi_l=NM1$ , then (ifF = 0), then  $S_i = SNM1$  and  $P = f(K1, K1, K1)$  and  $F = 0$ ;

R7: if/  $\varphi_l=NB$ , then (ifF = 0), then  $S_i = SNB$  and  $P = f(K1, K1, K1)$  and  $F = 2$ ;

R8: if/  $\varphi_l=PM$ , then (ifF = 0), then  $S_i = SPM2$  and  $P = f(K1, K1, K1)$  and  $F = 3$ ;

R9: if/  $\varphi_l=PN$ , then (ifF = 1), then  $S_i = SPN2$  and  $P = f(K1, K1, K1)$  and  $F = 0$ ;

R10: if/  $\varphi_l=NM$ , then (ifF = 3), then  $S_i = SNM2$  and  $P = f(K1, K1, K1)$  and  $F = 4$ ;

R11: if/  $\varphi_l=NN$ , then (ifF = 2), then  $S_i = SNN2$  and  $P = f(K1, K1, K1)$  and  $F = 0$ ;

де  $P = f(K1, K1, K1)$  - функція адаптації до умов польоту,  $F$  - ознака стану системи керування.

Для реалізації отриманих продукцій задаються керуючі рішення, відповідно до розробленої в другому розділі роботи методики.

Структурна схема СКП з блоком адаптації до маневру цілі приведена на рис. 6

де  $W_{pt}(p, t)$  - оператор радіотракту датчика (координатора);  $w_{np}(p, t)$  - оператор приводу антени датчика (координатора);  $w_{жыс+\phi}(p, t)$  - оператор датчиків кутових швидкостей і фільтрів;  $G$  - оператор автономного виміру власного руху;  $M$  - оператор кінематичної ланки;  $L$  - математична модель процесу зміни швидкості польоту БПЛА;  $E, F, P, S, C$  - оператори бортової цифрової обчислювальної машини (БЦВМ).  $I, K$  - оператори системи автопілот - БПЛА.

Основною метою математичного моделювання була оцінка працездатності синтезованої системи керування та одержання кількісних значень характеристик розподілу показника якості системи керування, що надалі є основою для одержання імовірності наведення на об'єкт.

Деякі результати порівняльної оцінки ефективності вихідної СКП БПЛА і синтезованої на її основі системи керування з адаптивними алгоритмами подані на рисунках 7-13.

На рисунку 7 показані вертикальні і горизонтальні перетини зони виводу в заданий район, отримані для максимальної швидкості БПЛА по траєкторії у горизонтальній площині типу "віраж" за 3 секунди до виводу у район з перевантаженнями 8 і 12 одиниць.

На рисунках 12-13 показані гістограми ймовірностей виводу БПЛА в заданий район при траєкторії БПЛА типу "віраж" і за 3 секунди до виводу у потрібний район по траєкторії "зниження".

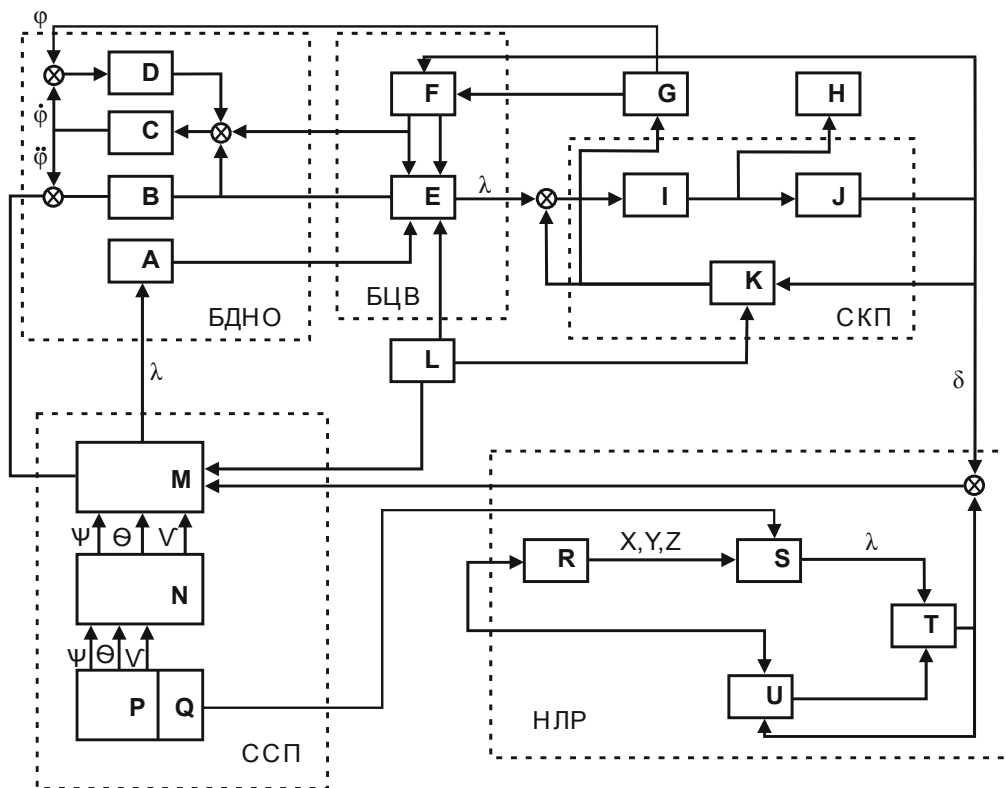


Рис. 6. Функціональна схема синтезованої СКП БПЛА

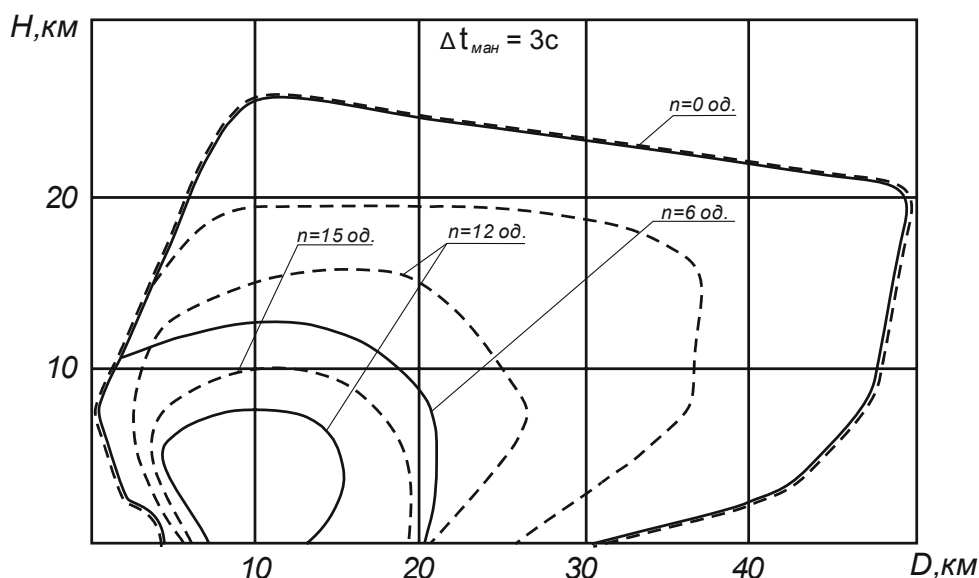
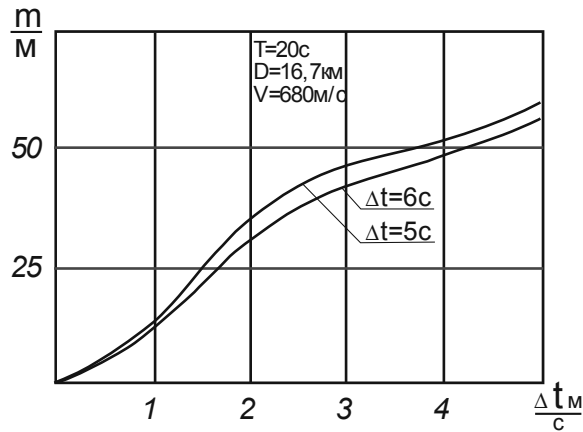
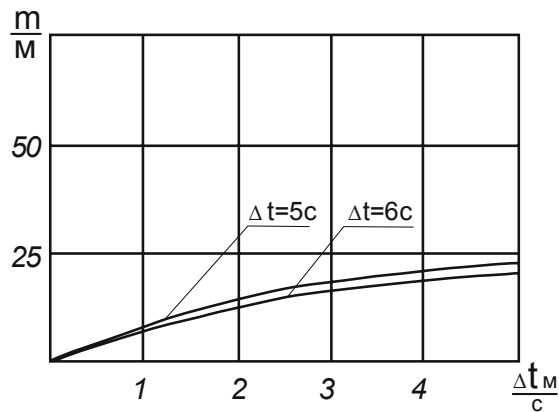


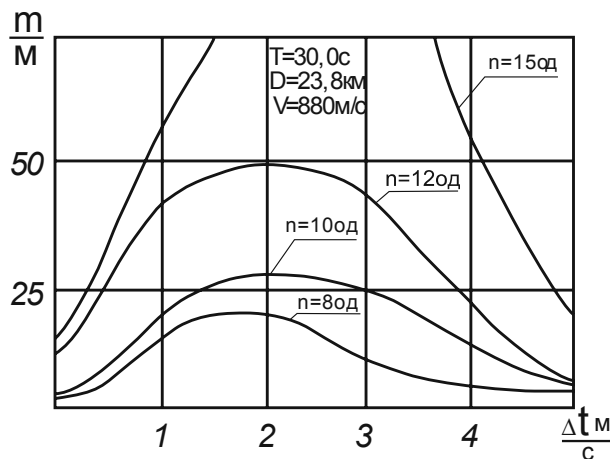
Рис. 7 – Вертикальний розтин зони пеленгування об’єкту (« ————— » - штатна СКП, «-----» - синтезована СКП).



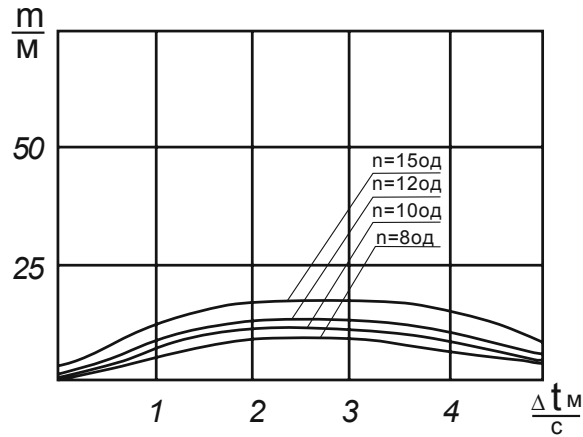
**Рис. 8.** Розподіл динамічної помилки визначення координат об'єкту існуючої СКП при траєкторії БПЛА «Спіраль».



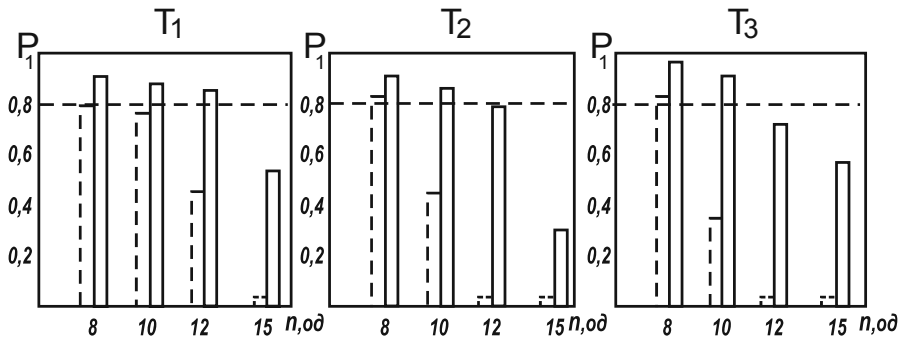
**Рис. 9.** Розподіл динамічної помилки визначення координат об'єкту синтезованої СКП при траєкторії БПЛА «Спіраль».



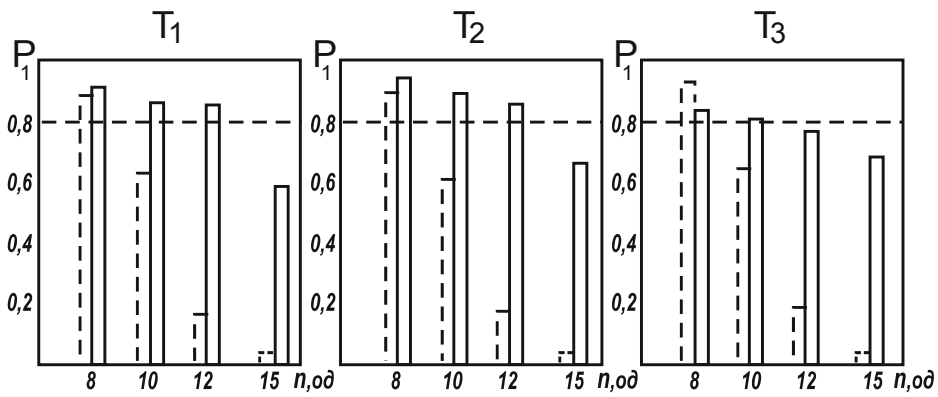
**Рис. 10.** Розподіл динамічної помилки визначення координат об'єкту існуючої СКП при траєкторії БПЛА «Набір висоти».



**Рис. 11.** Розподіл динамічної помилки визначення координат об'єкту синтезованої СКП при траєкторії БПЛА «Набір висоти».



**Рис. 12.** Гістограми імовірності доставки БПЛА при траєкторії «Зниження» («-----») - штатна СКП, « \_\_\_\_\_ » - синтезована СКП).



**Рис. 13.** – Гістограми імовірності доставки БПЛА БПЛА при траєкторії «Віраж» («-----») - штатна СКП, « \_\_\_\_\_ » - синтезована СКП).

Результати експериментальної оцінки якості функціонування синтезованої СКП БПЛА показали працездатність системи і слухність обраного шляху рішення поставленої задачі. Таким чином, застосування синтезованої СКП при проектуванні перспективного БПЛА є перспективним напрямком.

На основі апарата нечіткої математики, що дозволяє вирішити задачу оптимізації в умовах інформаційної невизначеності синтезований адаптивний нечіткий логічний регулятор, що ідентифікує стан об'єкта керування) і видає керуючий вплив у виді вектору команд керування.

Розроблено методику синтезу системи керування польотом з алгоритмами керування на основі математики нечітких множин. По цій методиці синтезована СКП, що забезпечує необхідну можливість виводу БПЛА у заданий район в умовах впливу помилкової складової параметру розголосу.

Оцінка параметричної чутливості синтезованої СКП БПЛА на математичній моделі, реалізованої за допомогою ПЕОМ, показує достатній ступінь "грубості" до похибок виміру параметрів, використовуваних на борту БПЛА.

Дослідження системи з керуванням за допомогою синтезованих алгоритмів показує, що застосування розробленої методики дозволяє зменшити розміри заданої зони на 13-30%, скоротивши ділянку маневрування за рахунок оптимізації по обраному критерію якості траєкторії прямування. Це дозволяє підвищити можливості БПЛА щодо виводу БПЛА в малі за розміром райони, підвищити завадостійкість СКП.

Дослідження системи керування польотом з розробленими алгоритмами керування показує, що їхнє використання дозволяє забезпечити необхідну ефективність виводу БПЛА в заданий район при виникненні перекручувань вхідної інформації, розширяючи потенційні можливості СКП під час виконання маневру із перевантаженнями до 12-14 одиниць, у той час як існуюча СКП БПЛА забезпечує політ із заданою траєкторією та маневром із перевантаженнями до 8-10 одиниць.

Запропонований у роботі підхід до рішення задачі підвищення ефективності СКП БПЛА, отримані теоретичні і практичні результати можуть бути використані як при модернізації існуючих СКП літальних апаратів так і при проектуванні перспективних БПЛА.

### **Список використаної літератури**

1. Лемешко А.Д., Писаренко И.В., Пархомей И.Р.. К вопросу оптимизации процессов наведения ЗКР на маневрирующие цели в условиях информационной неопределенности о параметрах движения цели на борту ракеты.: Науч.-техн.сб.2. – Киев: ЦНИИ МО Украины, 1995. – с. 53.-58.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТІВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ**

*Анотація:* Запропоновані методи підвищення енергоефективності технологічних роботів вертикального переміщення, а саме за рахунок рекуперації енергії переміщення, зменшення енергозатрат шляхом вдосконалення їх системи автоматичного керування, інтеграції модулів утримання на поверхні переміщення та моніторингу її топології.

*Ключові слова:* мобільні роботи, керування роботами вертикального переміщення, генетичні алгоритми

### **Вступ**

Роботи вертикального переміщення є новим різновидом мобільних роботів, що оснащені різноманітними захватами для утримання робота на вертикальній або іншій орієнтації поверхні. Вказані захвати розміщуються або на, так званих, педипуляторах — крокуючих механізмах, або безпосередньо на корпусі робота, якщо останній має колісну трансмісію. Головною особливістю керування роботів даного типу є необхідність врахування гравітаційної складової в сукупності динамічних навантажень. Це пояснюється тим, що відносно традиційних мобільних роботів гравітаційна сила сприяє стабілізації їх пересування, а у випадку роботів вертикального переміщення — навпаки, потребує її подолання з метою гарантованого утримання робота на поверхні переміщення.

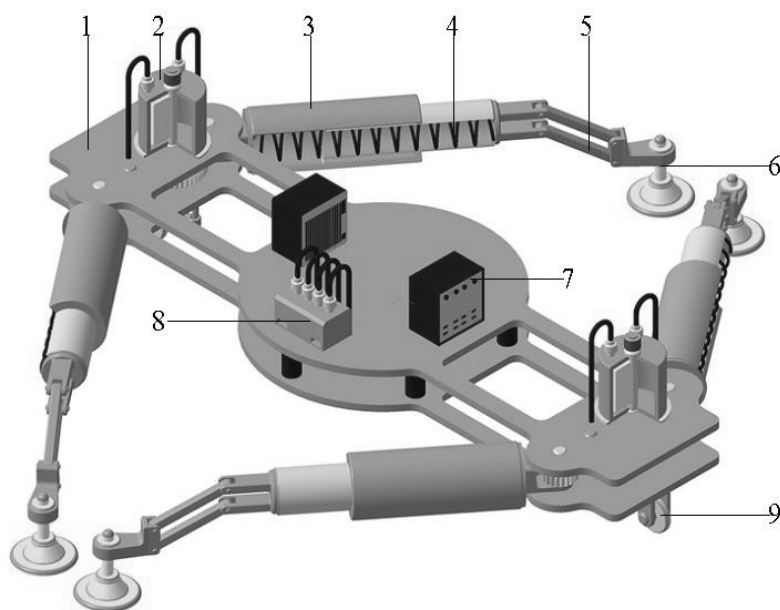
Необхідність створення таких роботів обумовлюється виникаючими екстремальними ситуаціями, збільшеними вимогами до виконання технологічних операцій в умовах, небезпечних для перебування людини. Головними задачами розробки технологічних роботів вертикального переміщення (РВП) є вибір способів утримання та одночасного переміщення робота на вертикальній поверхні, розрахунок його конструктивно-технологічних параметрів, припустимого динамічного навантаження та сил, необхідних для утримання і руху.

Основним завданням синтезу системи керування РВП є знаходження умов оптимального співвідношення між силами зчеплення робота з вертикальною поверхнею, з одного боку, і швидкістю реакції системи керування як на позаштатні ситуації, так і на виконання технологічних операцій.

### **Конструкція та принцип дії робота**

На рис. 1 наведено загальний вигляд крокуючого робота вертикального переміщення нового типу [1], а саме діючого за принципом рекуперації енергії

переміщення. Робот включає в себе корпус 1, на якому розміщено неповно поворотний пневматичний привід 2, з'єднаний через трансмісію з педипуляторами 3 — крокуючими механізмами. Останні оснащені пружними елементами 4, що виконують функцію накопичення потенційної енергії за період першої половини циклу переміщення — тобто першої половини кроку. Для здійснення пласко паралельного переміщення робот оснащено шарнірними паралелограмами 5, що з'єднують вакуумні захвати 6 з вказаними вище педипуляторами. Вакуумні захвати 6 утримують робот на вертикальній чи будь-якої довільної орієнтації поверхні і можуть бути замінені на інший тип захватів для утримання робота, наприклад, механічні, електромагнітні чи адгезійні, залежно від типу поверхні переміщення та технологічних функцій робота.



**Рис 1.** Робот вертикального переміщення з модулями рекуперації енергії

Також робот оснащено блоком керування 7 та модулем енергопостачання 8. Для подолання різноманітних перешкод на поверхні переміщення робот додатково оснащено опорами кочення 9, які завдяки кінематичному зв'язку через диференційну гвинтову передачу з переднім та заднім приводами 2 дозволяють здійснювати підйом корпусу 1 для подолання чергової перешкоди на шляху робота. Апаратною реалізацією системи керування може бути спеціалізований мікроконтролер чи ЕОМ.

Принцип дії робота вертикального переміщення з рекуперацією енергії руху полягає в наступному. На кожній половині кроку переміщення з поверхнею за командами системи керування зчіплюються тільки одна пара захватів — задніх або передніх. Інша пара захватів знаходиться у вільному стані. Після включення



приводу 2 педипулятори 3 обертаються навколо вісі зчеплених з поверхнею переміщення захватів 6, пересуваючи корпус 1 у напрямку руху. В наслідок чого пружні елементи 4 стискаються, накопичуючи таким чином потенційну енергію. На другій половині кроку переміщення привід вимикається, пружні елементи розтискаються, перетворюючи накопичену енергію в кінематичну енергію руху.

Таким чином, переміщення робота на кожній другій половині циклу (тобто половині кроку) відбувається за рахунок енергії, накопиченої на кожній першій половині кроку переміщення. Це дозволяє, що найменше, знизити на 40 ... 45% енергетичні витрати педипуляторів на їх рух, а значить суттєво підвищити енергетичну ефективність робота, що, в свою чергу, надає можливість спрямувати звільнену енергію на виконання технологічних операцій.

У загальному випадку, найменший рівень енергозатрат потребує система керування і датчики зовнішньої та внутрішньої інформації. Найбільш енергозатратними є система утримання на поверхні і переміщення та функціональні пристрої. Різниця у енергозатратах між двома описаними групами може досягати кількох порядків. При цьому зі збільшенням загальної маси робота, виникає необхідність у підвищенні потужності приводів робота та підвищення потужності пристроїв, що утримують робота на поверхні, а саме вакуумних, механічних, електромагнітних та адгезійних захватних пристроїв. Збільшення чи зменшення загальної маси робота не має прямого впливу на енергозатрати системи керування, датчиків і функціональних пристроїв, але суттєво впливає на загальну потужність його приводів. Таким чином, головним шляхом підвищення енергоефективності РВП є зменшення енергозатрат системи утримання на поверхні та переміщення з подоланням протидії гравітаційної сили.

### **Системи утримання, приводів та моніторингу поверхні переміщення**

Система утримання на поверхні і переміщення за своїм складом містить підсистему приводів і підсистему фіксації на поверхні. Підсистема приводів включає в себе приводи РВП, будь якого типу, що відповідають за рух елементів конструкції робота у просторі, в тому числі і педипуляторів. Підсистема фіксації на поверхні включає в себе механізми утримання робота на поверхні, а саме: вакуумні, механічні, електромагнітні та інших типів захвати.

*Підсистема приводів може мати різноманітну реалізацію. Здебільшого використовуються електроприводи, як такі, що мають більшу спроможність до гнучкого програмування ніж пневматичні приводи, та меншу масу ніж гідроприводи, хоча й поступаються останнім за такими показниками як точність позиціонування та питома потужність. Окрім того, електроприводи можуть споживати енергію від*

одного джерела живлення, що й система керування, датчики та функціональні пристрої. Необхідна потужність приводів залежить від конструктивних особливостей робота і його маси. Таким чином, стає очевидним той факт, що підвищення енергоефективності підсистеми приводів має здійснюватись за рахунок зменшення часу роботи приводів, як це було викладено вище.

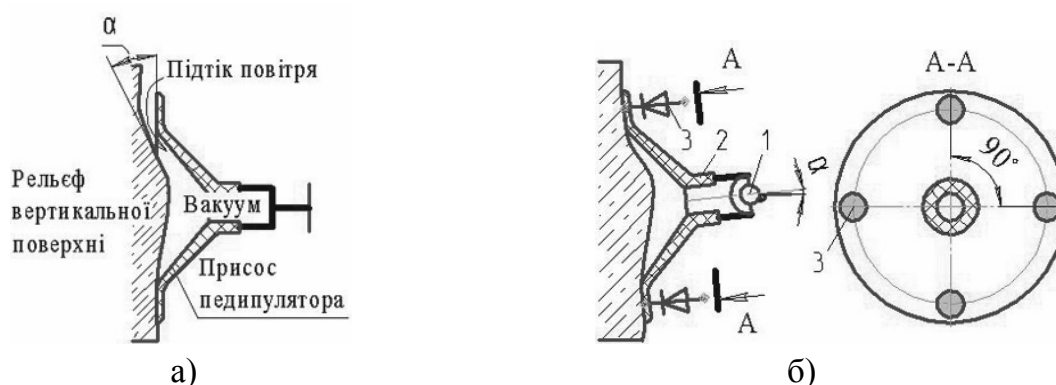
Ще одним перспективним напрямком зменшення енерговитрат є інтеграція приводів повздовжнього та вертикального переміщення, а також приводів зміни орієнтації робота за своїм маршрутом. Так, у вище наведеній конструкції РВП привід підйому та повороту робота здійснюється від того ж приводу повздовжнього руху. В першому випадку — за рахунок кінематичного зв'язку опор через диференційну гвинтову передачу з переднім та заднім приводами, а в другому — внаслідок почергового включення захватів зчеплення з поверхнею переміщення не попарно, а по діагоналі корпусу робота. Останні напрямки відносно роботів вертикального переміщення в світовій практиці їх побудови майже не досліджені.

*Підсистема фіксації* на поверхні відповідає за утримання педипуляторів чи корпусу робота на поверхні переміщення (наприклад через створення області низького тиску між роботом та вказаною поверхнею). Від обраного механізму закріплення на поверхні залежить принципова конструкція робота, а вказаний вибір визначається типом і рельєфом поверхні довільної орієнтації (в т.ч. і вертикальної), по якій можливе переміщення. Також вибір типу фіксації на поверхні впливає і на енергоефективність даної підсистеми. Так звана, "суха" адгезія, а також електроадгезія є найбільш ефективними з точки зору енергозбереження, але й одночасно новими і досить дорогими технологіями. Найбільш поширеними є РВП з вакуумною фіксацією [2]. При цьому можливі два варіанти. По-перше, можливе використання вакуумних присосів, що більш поширене, а по-друге можливе створення зони низького тиску між корпусом робота і поверхнею. Але в обох випадках створення зони вакууму потребує значних енергозатрат, особливо якщо робот має переміщуватися по складному рельєфу, що викликає загрозу нештатної (аварійної) ситуації, а саме втрачання в певні моменти часу тісного контакту з поверхнею.

Для запобігання вказаного явища, тобто у випадку, коли присос не зафіксований на поверхні, а знаходиться під кутом  $\alpha$ , як це показано на рис. 2 (а), необхідно мінімізувати площу присосу, яка не має контакту з поверхнею, тобто здійснити адаптацію розташування присосу на поверхні переміщення.

Відомо, що крокуючи людина аналізує поверхню під ногами за рахунок чутливості стопи. Це дає змогу ефективніше з точки зору стабілізації руху розташовувати ногу на складному рельєфі. А так як, енергозатрати на датчики і сис-

тему керування є відносно мінімальними, то можна запропонувати рішення, що схематично зображене на рис. 2 (б). Згідно цього рішення педипулятор оснащується шарнірною ланкою 1, на якій розташовано присос 2 із сенсорами 3. При обробці системою керування аналогових сигналів останніх робот може корегувати своє положення у просторі для кращого контакту з поверхнею. Сенсори слугують для оцінки щільності контакту з поверхнею стопи педипулятора. Таким чином, система керування має змогу корегувати положення педипулятора, подібно до того, як людина корегує положення своєї стопи на похилій площині, і, як наслідок, це дає змогу забезпечити початковий тісний контакт педипулятора з поверхнею.



**Рис. 2.** Схема контакту присоса с поверхнею переміщення:

а) без адаптації та б) з адаптацією його розташування;

1 – шарнірна ланка; 2 – присос; 3 – сенсори;  $\alpha$  – кут корекції.

Також, якщо використовувати не прості датчики факту дотику, а цифрові або аналогові сенсори, що можуть надати інформацію щодо сили притиснення частини педипулятора, виникає можливість регулювати роботу вакуумного генератора. Якщо зусилля утримання вистачає, то можливо збільшення потужності вакуумного генератора на величину необхідного безпечного запасу, і не більше. У випадку початку процесу втрати контакту з поверхнею, система керування зможе визначити початок даного процесу за даними сенсорів педипулятора, що в свою чергу надасть змогу прийняти необхідні заходи, наприклад, збільшити потужність вакуумного генератора, або перенести педипулятор, чи застосувати екстрені міри безпеки, в т.ч. й блокування системи фіксації.

*Підсистема моніторингу* здійснює аналіз рельєфу (топології) поверхні переміщення мобільного робота. Для цього пропонується додавання підсистеми керування лазерним дальноміром чи ехолокатором, що надасть змогу не тільки отримати інформацію про рельєф поверхні, але й здійснити її аналіз, до виконання чергового кроку переміщення. Таке рішення дозволить роботу обходити

перешкоди і мінімізувати час включення приводів. При цьому енергозатрати на роботу вказаних засобів навігації і обчислення траєкторії системою керування будуть на порядки нижчі ніж збережена в такий спосіб енергія, що була б витрачена приводами.

У випадку, коли моніторинг рельєфу поверхні ускладнено, пропонується застосування в системі керування генетичних алгоритмів чи нейромереж [3]. Таке рішення надає можливість перед виконанням технологічних операцій провести адаптацію робота до поверхні. За допомогою генетичних алгоритмів чи застосування нейромереж, робот навчається ефективнішому переміщенню по поверхні, а саме: змінюється довжина кроку, траєкторія руху структурних частин робота, кут нахилу педипулятору, и т.п. У випадках поверхонь з простою топологією, як, наприклад, звичайна стіна з цегли чи бетону, робот може бути навчений переміщуватися таким чином, що присоси педипулятора будуть контактувати з поверхнею стіни, а не в місцях стику елементів будівельних конструкцій, що значно зменшить швидкість зниження глибини вакууму в наслідок підтоку повітря, і, як наслідок, дозволить зменшити енергозатрати на формування вакуумної зони. Адаптація робота до поверхні переміщення запропонованим вище методом передбачає фазу його навчання при зміні топології поверхні.

Для адаптації робота до будь якої вертикальної поверхні керування роботом може здійснюватись шляхом "навчання" переміщенню по робочій поверхні. Тому на даній фазі його функціонування автоматична система керування повинна враховувати показники вакуумних сенсорів, що дозволять оцінити зниження глибини вакууму в наслідок підтоку повітря в камеру присоса педипулятора.

Нехай існує функція зниження глибини вакууму в захваті педипулятора:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – фактори, від яких залежить зниження глибини вакууму, а саме: довжина кроку, кут корекції присосів педипулятору, сила, з якою педипулятор притискається до поверхні його приводами і т.п.;  $n$  – кількість факторів.

Очевидно, що мінімізація глибини вакууму призведе до підвищення енергоефективності, тому придатність того чи іншого індивіда буде оцінюватися по критерію мінімуму глибини вакууму, достатнього для утримання робота на вертикальній поверхні, а саме:

$$\min f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (2)$$

Кожний індивід популяції представляє собою набір факторів

$$(x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn}), \quad (3)$$

де  $x$  – фактори, від яких залежить зниження вакууму, наприклад, величина перепаду рівнів горизонту поверхні переміщення, еластичність та ефективна площа

присосу окремого педипулятора, кількість одночасно працюючих присосів та інші фактори впливу;  $k$  – номер індивіда;  $n$  – кількість факторів. Звісно, що кожний фактор має свої обмеження, які необхідно враховувати під час керування роботом.

Першочергово формується випадковим чином початкова популяція. Розмір популяції (кількість індивідів) може бути довільний, але обмежений розмірами тестової поверхні через необхідність відпрацювання кроку робота для вимірювання глибини вакууму при заданих індивідом параметрів з міркувань надійного утримання мобільного робота на вертикальній поверхні переміщення.

Маючи початкову популяцію, робот вертикального переміщення здійснює один крок, який є відображенням конкретного індивіду, а саме використовує відповідні параметри індивіда (кут корекції присосів, довжина кроку, і т.п.). За допомогою сенсорів вимірюється глибина вакууму. Після здійснення кроків, що відповідають обраній популяції, необхідно обрати більш пристосовані індивіди для формування нової популяції, а саме ті індивіди, яким притаманно найменше зниження глибини вакууму між присосом та поверхнею переміщення.

Зазвичай при використанні генетичних алгоритмів таким чином відбирають половину більш пристосованої популяції, чи формують функцію вірогідності вибору індивіда, в нашому випадку можливе використання наступної функції:

$$P_{sel}(i) = 1 - \frac{f(i)}{\sum_{i=1}^k f(i)}, \quad (4)$$

де  $f(i)$  – значення функції (1) індивіда  $i$ .

Обрані індивіди використовуються у схрещуванні. Існують різноманітні підходи до схрещування. Для даної задачі може бути використаний спосіб, при якому при схрещуванні обирається "точка" відносно якої обирається набір параметрів індивіду від батьківських індивідів. При цьому можливо залишити як обох потомків, так і одного, обрав випадковим чином.

Після схрещування відбувається процес мутації отриманих індивідів. При цьому обирається вірогідність мутації і сила мутації. Для нашої задачі може бути доцільним розглядати вірогідність мутації кожного параметру індивіду, і різну силу мутації для кожного параметру, але не виходячи за рамки обмеження конкретного параметру.

Таким чином, сформоване нове покоління (що містить в собі відібраних індивідів попереднього покоління і потомків), яке проходить тестування, після чого знову відбувається селекція і т.д. Головне питання, що виникає — коли зупинити цей процес? В даному випадку, враховуючи похибки показань датчиків,

похибки позиціонування, і т.п., доцільно обрати певну величину  $\varepsilon$ , що являє собою допустиму похибку відносно точки мінімуму обраної функції (1). Тоді умовою зупинки алгоритму буде наступна нерівність:

$$\Delta f_j^{\min} \leq \varepsilon, \quad (5)$$

де  $\Delta f_j^{\min}$  – різниця мінімальних значень між поколіннями.

Таким чином, по завершенню фази навчання, будуть отримані параметри переміщення робота, які забезпечать той мінімум глибини вакууму, що достатній для надійного утримання робота на вертикальній поверхні. Це дозволить зменшити необхідну потужність вакуумного генератора, що в свою чергу, надасть можливість або знизити енерговитрати робота, або використовувати резерв сумарної потужності робота для виконання технологічних операцій.

### Висновки

Технологічні роботи вертикального переміщення є різновид мобільної робототехніки, що швидко розвивається і є перспективним для застосування в багатьох сферах людської діяльності, особливо в умовах небезпеки для людини та екстремальних умов виконання будь-яких технологічних операцій, а тому можна стверджувати наступне:

1. Вдосконалення системи автоматичного керування РВП за рахунок інтеграції модулів утримання на поверхні переміщення та моніторингу її топології надасть можливість не тільки підвищити енергоефективність роботів вказаного типу, а й забезпечити надійність функціонування системи їх утримання на поверхні руху.

2. Запропонований підхід оптимізації параметрів автоматичного керування роботом на основі методу генетичних алгоритмів надає можливість зменшення вірогідності нештатної (аварійної) ситуації, а саме втрачання в певні моменти часу щільного контакту робота з поверхнею під дією сил гравітації.

3. Побудова моделі керування із застосування генетичних алгоритмів для попереднього формування параметрів руху і фіксації робота (траєкторія руху, довжина кроку, і т.п.) на робочій поверхні, надає можливість покращити надійність функціонування систем руху та навігації при пошуку оптимальної траєкторії переміщення по вертикальним поверхням із різноманітною заздалегідь невизначеною топологією.

4. Інтеграція приводів повздовжнього та вертикального переміщення, а також приводів зміни орієнтації робота за своїм маршрутом з одночасним створенням засобів рекуперації енергії приводів в певні періоди переміщення робота,

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 2' (33) 2018 надасть можливість суттєво зменшити сумарну питому потужність, що має принципове значення для мобільних роботів означеного типу.

### **Список використаних джерел**

1. Патент UA 111021 МПК В62D57/032. Спосіб переміщення педипуляторів крокуючого робота та пристрій для його здійснення / Л.С. Ямпольський, М.М.Поліщук, В. К. Персіков; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. – 9 с.

2. Development of a Climbing Robot with Vacuum Attachment Cups / T.C. Apostolescu, C. Udrea, D. Duminica, G. Ionascu, L. Bogatu, Laurențiu Adrian Cartal, Titu Maiorescu // Mechanical Engineering And New High-Tech Products Development. – 2011. – С. 258–267

3. Гнучкі комп'ютеризовані системи: планування, моделювання, верифікація, управління: / Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко. — Житомир : ЖДТУ, 2010. — 786 с.

## АЛГОРИТМ ВРЕМЕННОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ УЗЛОВ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СБОРА ИНФОРМАЦИИ МОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА

*Аннотация:* Предложен алгоритм кластеризации в беспроводных сенсорных сетях (БСС) с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА), выполняющего роль временного главного узла кластера. Данный алгоритм кластеризации основан на модифицированном алгоритме FOREL, позволяющий минимизировать количество точек съема информации (кластеров) в маршруте облета и оптимизировать зону радиосвязности БПЛА. Предложены правила уменьшения расхода энергии узлов при взаимодействии с БПЛА.

*Ключевые слова:* беспроводные сенсорные сети, кластеризация, FOREL, сбор информации с БПЛА.

**Постановка задания в общем виде.** Современные технологии беспроводных сенсорных сетей (БСС) становятся популярными в различных областях применения (наблюдение за лесными массивами, полями, нефтепроводами и газопроводами, границами, осуществление экологического и метеорологического мониторинга, поисково-спасательные миссии и т.п.) в том числе и в отдаленных (недоступных) районах, где отсутствует телекоммуникационная инфраструктура [1 – 9]. БСС может быть предназначена для работы в течение нескольких месяцев или даже лет в труднодоступных районах. Для сбора данных в таких условиях предлагается использовать БПЛА. Автономные сенсорные узлы осуществляют мониторинг определенных параметров зон своего покрытия, хранят полученные данные и ждут возможности их передачи на центр сбора информации через БПЛА при появлении его в зоне радиосвязности.

БПЛА облетают интересующую территорию и собирают данные мониторинга от сенсорных узлов. При облете территории по определенному маршруту БПЛА устанавливает радиосвязь с сенсорными узлами, принимает от них данные мониторинга, хранит и по возвращении передает на центр сбора данных для их дальнейшего анализа.

Сенсорные узлы имеют ограниченные ресурсы по: энергии батареи, производительности процессора, памяти, мощности передатчика, пропускной способности радиоканала и т.д. Современные БСС могут состоять из сотен или даже тысяч сенсорных узлов. Замена батарей для такого большого количества узлов может быть непрактичной или даже не возможной. Следовательно, уменьшение (перераспределение) расхода энергии сенсорными узлами имеет решающее зна-



чение для увеличения времени их функционирования. Одним из способов решения данной задачи является кластеризация сети, позволяющая сократить длину маршрута облета и увеличить время функционирования БСС. Поэтому разработка алгоритмов кластеризации в БСС с использованием БпЛА является актуальной научной задачей.

### **Анализ последних публикаций и направления решения задачи.**

Процесс кластеризации в БСС зависит от способа сбора данных:

#### 1. Способ *рандеву* [2 – 5, 7 – 9].

По определенному алгоритму (централизовано или децентрализовано в зависимости от наличия информации о состоянии сети в центре управления сетью) сеть разбивается на кластеры. Узлы, обменявшись служебными сообщениями, на основе принятых критериев выбирают узлы-рандеву. В каждом кластере строятся маршруты передачи данных от узлов-мониторинга до узлов-рандеву, которые собирают и хранят данные мониторинга узлов своего кластера сети до подлета БпЛА. Далее БпЛА или центр управления сетью строит маршрут облета и сбора данных от узлов-рандеву.

Достоинства: использование узлов-рандеву позволяет снизить энергопотребление узлов кластера, уменьшить время полета и тем самым ускорить время сбора информации мониторинга. Недостатки: для обеспечения способа *рандеву* необходимо реализовать ряд дополнительных алгоритмов управления сетью, что ведет к дополнительному служебному трафику и расходу энергии батарей. Кроме этого, объемы данных обрабатываемых в узлах-рандеву, особенно в больших сетях, могут быть значительными, что может привести к переполнению буферов и задержкам доставки данных при передаче на БпЛА.

#### 2. Способ *непосредственного сбора данных от узлов к БпЛА* [1, 2, 6, 9].

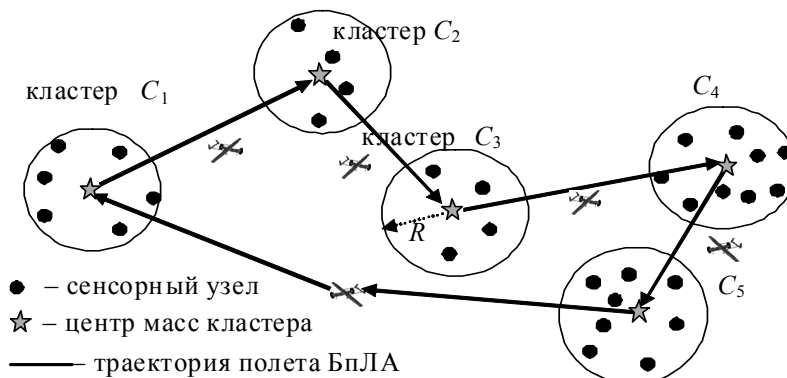
Центр управления сетью (или БпЛА), основываясь на информации о координатах узлов, вычисляет точки сбора информации (например, как “центр массы кластера”), формирует кластер на время сбора. Маршрут полета БпЛА формируется из точек сбора данных.

Достоинства: отсутствие дополнительных алгоритмов управления. Недостаток: невозможность децентрализованной реализации.

Выделим основные различия рассмотренных способов. При первом способе – узлы сами формируют реальные связные кластеры и выбирают главный узел (узел-рандеву). При втором – формируются временные кластеры самим БпЛА, выполняющего временно роль главного узла кластера.

При формировании кластеров целевыми функциями управления сети могут быть [7, 8]: минимизация времени сбора данных мониторинга, увеличение вре-

мени функционирования сети  $T_\phi$  (за счет совершенствования алгоритмов взаимодействия между БПЛА и сенсорными узлами в процессе сбора данных мониторинга), минимизация количества БПЛА и др.



**Рис. 1.** Вариант перемещения БПЛА между точками сбора – “центрами масс кластеров”

В работах [2, 6, 9] задача кластеризации БСС и сбора данных БПЛА непосредственным способом рассматривается в отрыве от необходимости учета нескольких целевых функций управления.

**Цель статьи:** разработать алгоритм кластеризации и сбора информации мониторинга БПЛА непосредственно с узлов БСС, позволяющий сократить длину маршрута (и, соответственно, время сбора данных), уменьшить расход энергии батарей сенсорных узлов за счет различных правил сбора данных в полученных кластерах (и, соответственно, увеличить время функционирования сети), минимизировать число используемых БПЛА.

### Изложение основного материала.

*Модель сети.* Рассматривается неоднородная БСС. Наземные узлы случайным образом распределены на определенной территории, имеют одинаковые функции и ресурсы, стационарны, не обслуживаются, не изменяют своего местоположения, оснащены системой позиционирования (например, GPS). БПЛА и сенсорные узлы оснащены одинаковым радиооборудованием и поддерживают одинаковые протоколы информационного обмена (например, IEEE 802.11), имеют ограниченные дальность радиосвязности и скорость обмена. Каждый узел сети имеет собственную систему управления, действует в кооперации с другими узлами сети и БПЛА, имеет достаточно памяти для хранения данных мониторинга.

БПЛА имеет возможность перемещаться в трех измерениях с переменной скоростью на ограниченной высоте и ограниченное время. БПЛА обладает соб-

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 2' (33) 2018

ственной системой управления, позволяющей самостоятельно принимать свои решения в условиях отсутствия связности с центром управления сетью. Когда в зону радиосвязности узла входит БпЛА, он отправляет ему собранные данные мониторинга.

Считается, что БпЛА знает координаты узлов, которые могут быть получены одним из следующих способов:

1. На этапе развертывания наземных сетей при детерминированном размещении узлов – фиксируются координаты каждого из узлов при его размещении.

2. При случайном развертывании узлов сети БпЛА осуществляет первичный облет территории, покрываемой наземными узлами БСС, и собирает данные о координатах узлов в предположении наличия в узлах системы позиционирования. В этом случае маршрут полета строится с целью покрытия всей территории наблюдения. В процессе облета БпЛА собирает как информацию мониторинга, так информацию о состоянии узлов и кластеров для дальнейшего планирования задач управления.

3. При наличии связной топологии БСС и возможности сбора центром управления информации о состоянии и координатах расположении сенсорных узлов.

Будем полагать, что зона радиосвязности БпЛА представляет собой круг радиуса  $R$ , а считывание информации с узлов БСС может производиться в произвольных точках.

Нахождение минимального числа точек считывания информации заключается в покрытии исходного множества точек (узлов) сети минимальным числом кругов радиуса  $R$ . Для решения такой задачи предлагается использовать итерационный метод кластерного анализа, в частности метод FOREL (FORmal Element) [2, 11].

### Алгоритм реализации метода FOREL

Алгоритм FOREL решает задачу кластеризации, при решении которой минимизируется суммарное квадратичное расстояние элементов кластеров (узлов БСС) от центров масс этих кластеров. Минимизируемая функция может быть записана как:

$$M = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} (x_j - \mu_i)^2, \quad (1)$$

где  $k$  – число кластеров;  $S_i$  – множество элементов  $i$ -го кластера;  $\mu_i$  – координаты центра масс  $i$ -го кластера;  $x_j$  – координаты центра масс  $j$ -го элемента кластера.

Значение  $(x_j - \mu_i)$  представляет собой эвклидово расстояние между элементом кластера и центром масс кластера. Рассмотрим данный алгоритм для двумерного пространства (плоскости). В данном случае каждый элемент рассматривается как точка на плоскости и характеризуется своими координатами  $(x_j, y_j)$ . Координаты центра масс  $i$ -го кластера определяются как:

$$x_i^{\mu} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_j, \quad y_i^{\mu} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} y_j. \quad (2)$$

Также каждый объект (точка) может характеризоваться кроме координат некоторым параметром («массой»)  $m_j$ . Тогда центр масс будет определяться как (центр масс плоской фигуры):

$$x_i^{\mu} = \frac{1}{m_i^{\Sigma}} \sum_{j=1}^{n_i} m_j x_j, \quad y_i^{\mu} = \frac{1}{m_i^{\Sigma}} \sum_{j=1}^{n_i} m_j y_j, \quad m_i^{\Sigma} = \sum_{j \in S_i} m_j. \quad (3)$$

В алгоритме FOREL задается размер кластера. В двумерной задаче на геометрической плоскости под  $R$  понимается максимальное расстояние от элемента кластера до его центра масс (радиус). Каждый элемент также рассматривается как точка на плоскости и характеризуется своими координатами  $(x_j, y_j)$ . Координаты центра масс  $i$ -го кластера определяются согласно (2) или (3). Алгоритм кластеризации включает в себя следующие основные шаги:

1. Задаются границы области, координаты объектов (точек)  $I = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$  и максимальный размер кластера ( $R$ ), номер кластера.

2. Выбирается случайная точка  $m_i$  в заданной области. Эту точку на начальном этапе принимаем за центр масс кластера.

3. Все объекты, находящиеся на расстоянии не более  $R$ , приписываются к данному кластеру.

4. Для полученного кластера вычисляется центр масс  $m_i^*$ , согласно формулам (2) или (3). Если вычисленные координаты центра масс совпадают с точкой  $m_i$ , то полагаем, что кластер  $i$  определен, все приписанные данному кластеру точки помечаются номером кластера и исключаются из дальнейшего рассмотрения. Переход к п. 5 (поиск следующего кластера). Если вычисленные координаты центра масс не совпадают с точкой, то процесс поиска продолжается, т. е. принимаем  $m_i = m_i^*$ , переход к п. 3.

5. Проверяем, остались ли объекты, не отнесенные ни к одному кластеру. Если нет, то все кластеры определены, завершение поиска (к п. 6). Если объекты остались, то переход к п. 2 (поиск очередного кластера).

6. Выводим данные о принадлежности объектов к кластерам, центре масс полученных кластеров. Конец поиска.

*Примечание.* Во время поиска очередного кластера может оказаться, что на удалении менее от выбранного центра масс нет ни одного объекта. В таком случае следует произвести выбор нового центра масс (случайный выбор). Обобщенная схема-алгоритма FOREL приведена на рисунке 2.

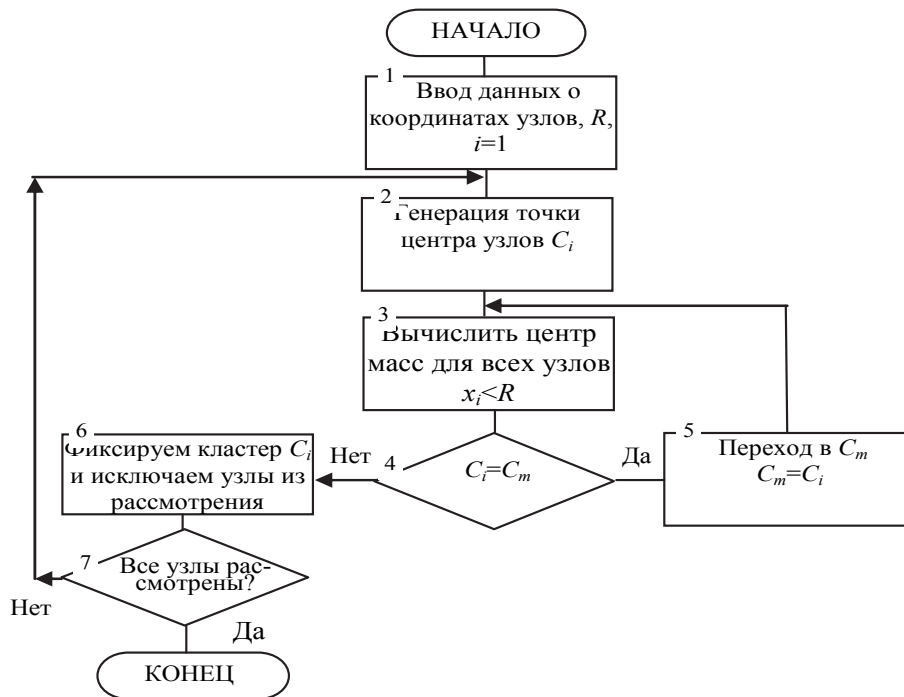


Рис. 2. Схема-алгоритм FOREL

Варианты решения для конкретного примера БСС представлены на рис. 3.

К достоинствам данного алгоритма можно отнести: незначительную вычислительную сложность  $O(n^2)$ , возможность изменения числа кластеров в зависимости от величины  $R$ , сходимость алгоритма увеличивается с увеличением  $R$ . Недостаток: конечное решение сильно зависит от начального приближения.



Рис. 3. Варианты решения при различном размещении сенсорных узлов

### Решение задачи

В отличие от ранее предложенных подходов решения задачи непосредственного сбора данных БПЛА от узлов БСС будем учитывать ряд целевых функций управления сетью:

1. *Минимизация (ограничение) времени сбора  $T_{сб}$  информации мониторинга* – за минимальное (ограниченное) время полета (один круг облета) собрать данные мониторинга от всех (выделенных) сенсорных узлов

$$T_{сб} \rightarrow \min \text{ или } T_{сб} \leq T_{сбзад} \quad (4).$$

при ограничениях на количество БПЛА  $N_{БПЛА} \leq N_{БПЛАзад}$ , заданный объем данных мониторинга  $V_{дм} \geq V_{дмзад}$  и время функционирования сети  $T_{ф} \geq T_{фзад}$ .

Время сбора данных зависит как от количества БПЛА, их технических характеристик (скорость, высота, дальность, продолжительность полета, радиосредств и др.), условий полета (характер местности, погодные условия и т.д.), так и от траектории движения.

Траектория движения БПЛА зависит от координат размещения узлов сети на территории. Если дальность радиосвязности БПЛА позволяет обеспечить обмен данными с некоторым количеством узлов БСС, то целесообразно найти точки сбора, в которых может быть обслужено максимальное количество узлов. Тогда траектория движения БПЛА будет линией, соединяющей данные точки. От выбора траектории существенно зависит длина маршрута БПЛА, а, следовательно, и время сбора и доставки данных мониторинга. В тоже время от высоты полета и дальности радиосвязности, зависит затрачиваемая мощность на передачу и скорость (время) обмена. Поэтому время обмена данными не должно превышать время существования радиосвязности при полете БПЛА над узлом. В табл. 1 представлены зависимости скорости передачи от дальности при использовании протокола IEEE 802.11g [5].

Увеличение дальности радиосвязности приводит к увеличению расхода энергии на передачу. Кроме этого предельное увеличение дальности радиосвязности ограничено малой мощностью передатчиков узлов. Пример различных значения зон радиосвязности  $R$  от высоты полета  $h$  БПЛА при дальности передачи  $r_n = 250м$  (БПЛА та сенсорных узлов) показаны на рис. 4 [11].

2. *Максимизация времени функционирования сенсорной сети  $T_{ф}$ .*

$$T_{ф} \rightarrow \max \text{ или } T_{ф} \geq T_{фзад}, \quad (5)$$

$$T_{сб} \leq T_{сбзад}, V_{дм} \geq V_{дмзад}, N_{БПЛА} \leq N_{БПЛАзад},$$

при ограничениях на заданные: время  $T_{сб}$ , объемы  $V_{дм}$  сбора данных мониторинга (ДМ) и количество БПЛА  $N_{БПЛА}$ .

Таблиця 1. Зависимость скорости передачи от расстояния для стандарта IEEE 802.11g при  $BER \leq 10^{-5}$

Скорость передачи $s$ , Мб/с	Расстояние, м	Скорость передачи $s$ , Мб/с	Расстояние, м
Для коэффициента затухания $\alpha=2.25$ (между узлом и БПЛА)			
54	54	12	204
48	69	9	219
36	114	6	261
24	146	2	328
18	189	1	$d_{max}$
Для коэффициента затухания $\alpha=3.0$ (между узлами БСС)			
54	20	12	54
48	24	9	57
36	35	6	65
24	42	2	77
18	51	1	$d_{max}$

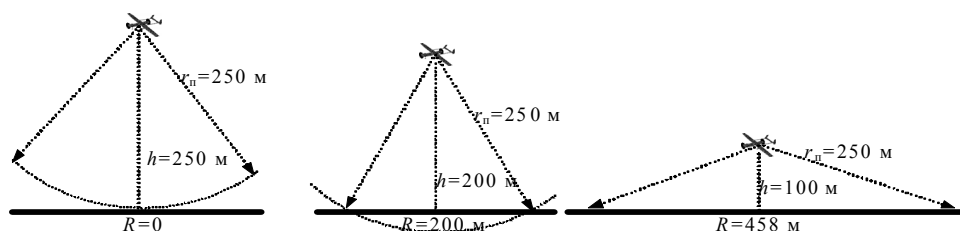


Рис. 4. Зависимости размера зоны радиосвязности  $R$  от высоты полета при  $r_n = 250$  м.

Понятие “время функционирования”  $T_\phi$  может трактоваться различными способами и будет определяться пользователем сети [10]:

- время работы сети до выхода из строя первого узла из-за израсходования энергии его батареи (так называемый период стабильной работы сети);
- время работы сети до выхода из строя  $k$ -критических узлов сети, определяющих функционал сети;
- время работы сети до выхода из строя части или всех узлов.

Увеличения времени функционирования сети будем добиваться применением специальных правил уменьшения расхода энергии батарей узлов при передаче за счет уменьшения расстояния между сенсорным узлом и БПЛА:

1. Минимальная высота полета БПЛА для конкретного кластера (подбор величины зоны радиосвязности  $R$ ).
2. Назначение точек обмена данными для узлов, находящихся ближайших к траектории полета (рис. 5а).
3. Облет узлов с малой оставшейся энергией батарей на предельно малом расстоянии.

4. Кооперативная работа группы близко расположенных узлов (формирование миникластера и реализация способа рандеву): выбор узла-рандеву, ближайшего к маршруту полета БПЛА, построение кратчайших маршрутов передачи от соседних узлов к узлу-рандеву с метриками: минимальная мощность передачи и оставшаяся энергия батарей (рис. 5б). Так, например, мощность, затрачиваемая на передачу между узлом 3 и БПЛА  $P_{3-БПЛА} \gg P_{3-2}$  значительно больше, чем мощность, затрачиваемая на передачу между 3-м и 2-м узлами. И в целом для данного фрагмента сети

$$(P_{3-2} + P_{2-1} + P_{1-БПЛА}) < (P_{1-БПЛА} + P_{2-БПЛА} + P_{3-БПЛА}).$$

Метрика выбора маршрута будет определяться соотношением  $w_{ij} = P_{ij} \cdot l / s$ , где  $P_{ij}$  – мощность передачи на передачу при обеспечении заданного соотношения сигнал-шум,  $l$  – длина пакета данных,  $s$  – скорость передачи данных. Применив алгоритм поиска кратчайшего пути (например, Беллмана-Форда) с данной метрикой, мы можем найти оптимальные пути передачи между узлами миникластера и БПЛА.

5. Установка мощности передачи на минимально необходимом уровне.



**Рис. 5.** Правила уменьшения расхода энергии при передаче данных на БПЛА

3. Минимизация количества БПЛА, необходимых для сбора данных с заданным качеством

$$N_{БПЛА} \rightarrow \min, \quad (6)$$

при ограничениях на время сбора информации  $T_{сб} \leq T_{сбзад}$ , объем собираемых данных мониторинга  $V_{дм} \geq V_{дмзад}$  и время функционирования сети  $T_{ф} \leq T_{фзад}$ .

### Обобщенный алгоритм сбора данных

1. Ввод исходных данных: множество узлов  $i = 1 \dots N$  и их координаты размещения  $(x_i, y_i)$ ; множество БПЛА  $b = 1 \dots B$ ; исходная и конечная точка полета



БпЛА; максимальная и средняя  $v$  скорости, дальность полета; высота полета, дальности радиосвязности БпЛА и узлов, определяющие значение радиуса покрытия  $R = [R_{\min}, R_{\max}]$  (начальное значение  $R = R_{\max}$ ); заданное время сбора данных  $T_{сбзад}$ ; заданное время функционирования сети  $T_{фзад}$ ; целевые функции управления (4)–(6) и иерархия их приоритетов.

2. Нахождение количества и координат точек сбора данных мониторинга  $(x_b, y_b)$  при помощи алгоритма FOREL при заданном значении  $R$ .

3. Построение базового маршрута полета БпЛА по полученным точкам сбора одним из известных методов поиска кратчайшего маршрута (задача коммивояжера).

4. ЕСЛИ приоритет целевой функции  $\min T_{сб}$

ТО разделить маршрут облета на все БпЛА и переход к шагу 7.

5. Вычисление времени сбора данных БпЛА:

$T_{сб} = L_m / v$  – соотношение длины маршрута облета  $L_m$  к средней скорости полета  $v$ .

6. Проверка выполнения заданных требований по времени сбора данных:

ЕСЛИ  $T_{сб} \geq T_{сбзад}$  ТО

ЕСЛИ  $\{b\} \neq \emptyset$  (проверка наличия резерва БпЛА)

ТО добавить БпЛА, разбить граф сети на части и выполнить алгоритм для каждого подграфа отдельно, переход к шагу 2.

ИНАЧЕ КОНЕЦ;

ИНАЧЕ  $R' = kR$  – уменьшить значение  $R$  на определенную величину  $k$ ;

ЕСЛИ  $R' < R_{\min}$  ТО переход к шагу 7.

ИНАЧЕ переход к шагу 2 с новым  $R = R'$ .

7. Реализация правила 3 – скорректировать базовый маршрут для облета на ближайшем расстоянии узлов с критичной энергией батареей (при выполнении условия  $T_{сб} \leq T_{сбзад}$ ).

8. Реализация правила 2 – назначить точки обмена данными, ближайшие к траектории полета БпЛА (рис. 5а).

9. Реализация правила 4 – организовать кооперативную работу близкорасположенных узлов (миникластера) по построению энергоэффективных маршрутов передачи данных к узлу-рандеву, ближайшему к траектории полета БпЛА (рис. 5б). КОНЕЦ.

Так как в исходных данных возможно упорядочивание критериев по важности, то задачу многокритериальной оптимизации будем решать, используя

метод последовательных уступок. В случае приоритета  $\min T_{сб}$  шаг 4 алгоритма распределяет маршрут облета между всеми БПЛА. Начальная реализация алгоритма со значением  $R = R_{\max}$  пытается минимизировать количество точек сбора и соответственно время сбора данных. Затем при удовлетворении  $T_{сб} \geq T_{сбзад}$  пытаемся уменьшить мощность передачи (расход энергии), уменьшая  $R$  и применяя соответствующие правила уменьшения мощности передачи. Реализация правил возможна только при наличии соответствующих алгоритмов управления в узлах сети. При удовлетворении требований (ограничений) по времени сбора, величине расходуемой энергии узлов алгоритм стремится минимизировать число задействованных БПЛА, добавляя при каждой итерации решения только по одному БПЛА.

Для практической проверки результатов функционирования алгоритма осуществлена его программная реализация в среде MATLAB. Проведены эксперименты и получены зависимости:

- времени сбора данных и времени стабильного функционирования сети от размерности сети; среднего расхода энергии узлов при различном количестве облетов при применении различных алгоритмов непосредственного сбора данных. Показано, что предложенный алгоритм позволяет в среднем на 15-20% сократить время облета и на 10-15% увеличить время стабильного функционирования сети в сравнении и известными алгоритмами непосредственного сбора данных.

**Выводы.** Таким образом, для временной кластеризации беспроводной сенсорной сети предложено использовать БПЛА, который реализует модифицированный итерационный алгоритм кластерного анализа FOREL. Предложенный алгоритм сбора данных позволяет:

- сократить маршрут облета и, соответственно, время сбора данных за счет минимизации количества кластеров (точек сбора данных мониторинга);
- увеличить время функционирования сети за счет уменьшения мощностей (дальности) передач между БПЛА и сенсорными узлами, адаптации радиуса покрытия БПЛА к реальному размещению узлов кластера, нахождения ближайших точек обмена данными от маршрута перемещения БПЛА, построения энергоэффективных маршрутов передачи данных между узлами сети и БПЛА;
- уменьшить количество используемых БПЛА.

Направлением дальнейших исследований является оценка эффективности предложенного алгоритма при различных протоколах обмена (случайного и детерминированного множественного доступа) между БПЛА и сенсорными узлами в кластерах.

### Список використаних джерел

1. Imad Jawhar, Nader Mohamed, Jameela Al-Jarood UAV-based data communication in wireless sensor networks: Models and Strategies, International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2015.
2. Киричек Р.В. Разработка и исследование комплекса моделей и методов для летающих сенсорных сетей: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.12.13 / Киричек Руслан Викторович. – СПб, 2017. – 316 с.
3. Dac-Tu Ho, Esten Ingar Grøtli, P. B. Sujit, Tor Arne Johansen, João Borges Sousa Optimization of Wireless Sensor Network and UAV Data Acquisition Journal of Intelligent & Robotic Systems April 2015, Volume 78, Issue 1, pp 159 – 179.
4. Huseyin Okcu, Mujdat Soyturk. Distributed Clustering Approach for UAV Integrated Wireless Sensor Networks, International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing, 2014, Vol.15, No. 1–3, pp.106 – 120.
5. Dac-Tu Ho, Esten Ingar Grotli, and Tor Arne Johansen Heuristic Algorithm and Cooperative Relay for Energy Efficient Data Collection with a UAV and WSN. [http://folk.ntnu.no/torarnj/ho\\_2013.pdf](http://folk.ntnu.no/torarnj/ho_2013.pdf).
6. Гурник А.В. Застосування інтелектуальної сенсорної техніки для моніторингу та пошуко-рятувальних робіт / А.В. Гурник, С.В. Валуйский // Восточноевропейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 3 (9). – 27 – 32.
7. Романюк А.В. Задачи управління збором даних моніторингу БПЛА в беспроводных сенсорных сетях / А.В. Романюк // Збірник наукових праць ВІТІ. – 2018. – № 2. – С. 103 – 112.
8. Романюк А.В. Метод сбора информации мониторинга в беспроводных сенсорных сетях с использованием БПЛА / А.В. Романюк // Збірник наукових праць ВІТІ. – 2018. – № 1. – С. 90 – 99.
9. Sarmad Rashed and Mujdat Soyturk Analyzing the Effects of UAV Mobility Patterns on Data Collection in Wireless Sensor Networks, Sensors 2017, 17, 413; doi:10.3390/s17020413.
10. Романюк А.В. Моделі оцінки ефективності функціонування беспроводных сенсорных сетей / А.В. Романюк // Збірник наукових праць ВІТІ. – 2017. – № 3. – С. 125 – 134.
11. Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. — Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. — 270 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗДЕРЖЕК УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ

*Анотація.* В результаті проведених досліджень, на підставі методу аналізу ієрархій, були зібрані статистичні дані за експертними оцінками параметрів, визначені управлінські витрати від впровадження модифікованого технологічного процесу. Проаналізовані складові управлінських витрат, обумовлені необхідністю залучення експертів, опитування великої кількості підприємств для збору статистики і узгодження виданих системою рекомендацій з передбачуваним ТП виробництва. Визначений функціонал ефективності впровадження модифікації в існуючий процес виробництва, досліджена динаміка даного функціоналу для різних за призначенням, умовам експлуатації і конструктивному оформленню технологічних об'єктів.

*Ключові слова:* спосіб управління, процес виробництва, електронний апарат, система підтримки прийняття рішень, продуктивність процесу виробництва, моделі автоматизованого керування.

### Введение

Исследуя проблему организации автоматизированного управления технологическими процессами (ТП) производства сложноорганизованных объектов, следует большое внимание уделить вопросам обеспечения адаптации рассматриваемых процессов к особенностям производимого объекта, возможной ориентации технологического процесса на назначение и компоновку производимого изделия [1]. Решение данных вопросов следует искать в организации автоматизированного управления на основе интеллектуальных систем, но вначале необходимо отследить и обосновать необходимость применения данных подходов, проанализировать их экономическую целесообразность и оценить организационную необходимость подобного рода новшеств. С этой целью, для системного анализа вносимых в существующий технологический процесс новшеств, выбирают один из методов системного анализа, например метод анализа иерархий [2, 3]. Предполагаемая надстройка возлагает на себя: выполнение функций моделирования посредством программно-технических комплексов, работу экспертной системы на основании правил продукции, согласование выдаваемых экспертной системой рекомендаций с существующими нормами и правилами, действующими на предприятии, постпроцессирование управляющих воздействий для реализации принятых решений в ТП. Данная схема работает, как для ТП производства электронных аппаратов

(ЭА), так и для ТП производства любого сложноорганизованного объекта, например, плиты перекрытия промышленного здания с оптимизацией длины арматурной структуры при обеспечении заданной прочности, поэтому тематика проводимых работ является актуальной.

Целью исследований является решение актуальной научно-технической проблемы генерации адаптивного управления технологическим процессом производства электронных аппаратов, опирающегося на систему поддержки принятия решения решающую вопросы моделирования, анализа и генерации рекомендаций, применение которой позволяет повысить качество и надежность ЭА при оптимизации технико-экономических показателей всего процесса производства в целом.

### Основное содержание и результаты работы

Рассматривая задачу управления процессом производства электронных аппаратов, следует выделить в ее рассмотрении следующие аспекты: необходимость включения в технологический процесс предлагаемой «надстройки» для моделирования свойств и параметров ЭА [1], составление по результатам моделирования некоторых заключений о приемлемости компоновки и параметров изделия и в противном случае необходимость генерации сценариев выхода из нежелательных ситуаций, организация управления процессом производства с учетом выдаваемых рекомендаций [4].

Таблица 1. Шкала интенсивности МАИ

Величина	Значение
1	Равная важность
2	Промежуточное значение между равной важностью и умеренным превосходством
3	Умеренное превосходство одного над другим
4	Промежуточное значение между умеренным и существенным превосходством
5	Существенное превосходство одного над другим
6	Промежуточное значение между существенным и значительным превосходством
7	Значительное превосходство одного над другим
8	Промежуточное значение между значительным и очень сильным превосходством
9	Очень сильное превосходство одного над другим

После иерархического воспроизведения проблемы [4] устанавливаются приоритеты критериев и оценивается каждая из альтернатив по критериям. В МАИ элементы задачи сравниваются попарно по отношению к их воздействию на общую для них характеристику. Система парных сведений приводит

к результату, который может быть представлен в виде обратно симметричной матрицы. Элементом матрицы  $a(i,j)$  является интенсивность проявления элемента иерархии  $i$  относительно элемента иерархии  $j$ , оцениваемая по шкале интенсивности от 1 до 9, где оценки имеют смысл, приведенный в табл. 1.

Если при сравнении одного фактора  $i$  с другим  $j$  получено  $a(i,j) = b$ , то при сравнении второго фактора с первым получаем  $a(j,i) = 1/b$ . Относительная сила, величина или вероятность каждого отдельного объекта в иерархии определяется оценкой соответствующего ему элемента собственного вектора матрицы приоритетов, нормализованного к единице. Процедура определения собственных векторов матриц поддается приближению с помощью вычисления геометрической средней.

Приоритеты синтезируются начиная со второго уровня вниз. Локальные приоритеты перемножаются на приоритет соответствующего критерия на вышестоящем уровне и суммируются по каждому элементу в соответствии с критериями, на которые воздействует элемент.

Важным понятием теории является так называемый индекс согласованности (ИС), который дает информацию о степени нарушения согласованности

$$ИС = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1), \quad (1)$$

где  $n$  – размерность матрицы, а  $\lambda_{\max}$  считается следующим образом: вначале суммируется каждый столбец суждений, затем сумма первого столбца умножается на величину первой компоненты нормализованного вектора приоритетов, сумма второго столбца – на вторую компоненту и т.д., затем полученные числа суммируются.  $\lambda_{\max} \geq n$ .

Теперь необходимо сравнить ИС с той величиной, которая получилась бы при случайном выборе суждений. Значения этой величины – случайной согласованности (СС) табулированы.

Определяя ИС и СС, находим отношение согласованности

$$ОС = \frac{ИС}{СС}. \quad (2)$$

Если для конкретной матрицы окажется, что  $ОС > 0.1$ , то можно утверждать, что суждения эксперта, на основе которых заполнена исследуемая матрица, сильно рассогласованы, и необходимо либо сменить экспертов, либо найти дополнительные данные, либо решать проблему другим методом.

Матрица парных сравнений для уровня иерархии исследования управленческих издержек, обусловленных необходимостью привлечения экспертов для создания специализированных баз знаний и правил продукции имеет вид, приведенный в табл. 2. В табл.2 и последующих введены следующие обозначения:

O1 - бытовой ЭА, O2 - стационарный ЭА, O3 - транспортный ЭА, O4 - военный ЭА, O5 - авиационный ЭА, O6 - космический ЭА.

*Таблица 2. Матрица парных сравнений  
для исследования управленческих издержек*

<b>Необходимость привлечения экспертов</b>	<b>O1</b>	<b>O2</b>	<b>O3</b>	<b>O4</b>	<b>O5</b>	<b>O6</b>	<b>Собственный вектор</b>	<b>Вектор приоритетов</b>
O1	1	1/3	1/5	1/7	1/9	1/8	0,226	0,025
O2	3	1	1/2	1/4	1/5	1/7	0,47	0,052
O3	5	2	1	1/3	1/6	1/5	0,693	0,076
O4	7	4	3	1	1/4	1/3	1,383	0,152
O5	9	5	6	4	1	1/2	2,854	0,315
O6	8	7	5	3	2	1	3,448	0,38

Для рассматриваемого случая максимальное собственное значение матрицы  $\lambda_{\max} = 6,398$  и для  $n=6$  величина случайной согласованности составляет 1,24, поэтому отношение согласованности для рассматриваемой матрицы равно 0,064, что меньше допустимого (0,08 ÷ 0,1), поэтому пересмотр суждений не требуется. Анализируя заполненную экспертами табл. 2 получаем, что максимальный вклад в управленческие издержки за счет необходимости привлечения экспертов имеет космический ЭА так как процесс его компоновки, подбора материалов и сборки основан на привлечении высококвалифицированных специалистов и формализация этих процедур требует привлечения экспертов с не меньшей квалификацией и опытом работы. Наименьшую составляющую в управленческих издержках за счет привлечения экспертов имеют бытовые ЭА т.к. для их производства характерен выигрыш от накопления информации в базах данных по выполненным проектам и отсутствуют наукоемкие производственные процессы.

В табл. 3. сведены статистически обработанные знания экспертов по оценкам параметров для уровня иерархии исследования управленческих издержек, получаемых за счет необходимости задействования большого количества предприятий для сбора статистики по формализации принимаемых решений, тестировании уже принятых и построению правил продукции для системы автоматизированного управления производством ЭА.

Максимальное собственное значение матрицы  $\lambda_{\max} = 6,518$  и для  $n = 6$  величина случайной согласованности составляет 1,24, поэтому отношение согласованности для рассматриваемой матрицы равно 0,083, что меньше допустимого, поэтому пересмотр суждений не требуется. Исследуя закономерности табл. 2 получаем, что наибольшие управленческие издержки за счет необходимости задействования большого количества предприятий для сбора статистики имеют ЭА космического назначения т.к. собираемые статистические данные касаются,

как космических аппаратов различного назначения, так и их различных серий и сложившихся технологий производства. Наименьшие издержки характерны для бытовых ЭА, что обусловлено относительной простотой принимаемых конструкторско-технологических решений и их сравнительной тождественностью, тиражируемой от предприятия к предприятию.

*Таблица 3. Матрица парных сравнений  
для исследования управленческих издержек*

<b>Необходимость задействовать большое количество предприятий для сбора статистики</b>	<b>O1</b>	<b>O2</b>	<b>O3</b>	<b>O4</b>	<b>O5</b>	<b>O6</b>	<b>Собственный вектор</b>	<b>Вектор приоритетов</b>
O1	1	1	1/3	1/4	1/6	1/5	0,375	0,048
O2	1	1	1/2	1/3	1/5	1/4	0,45	0,057
O3	3	2	1	1/2	1/3	1/4	0,794	0,101
O4	4	3	2	1	1/4	1/2	1,201	0,153
O5	6	5	3	4	1	1/3	2,221	0,283
O6	5	4	4	2	3	1	2,798	0,357

Сравнительный анализ управленческих издержек, обусловленных необходимостью согласования выдаваемых системой рекомендаций с предполагаемым ТП производства, приведен в табл. 4.

*Таблица 4. Матрица парных сравнений  
для исследования управленческих издержек*

<b>Необходимость согласования выдаваемых системой рекомендаций с предполагаемым ТП производства</b>	<b>O1</b>	<b>O2</b>	<b>O3</b>	<b>O4</b>	<b>O5</b>	<b>O6</b>	<b>Собственный вектор</b>	<b>Вектор приоритетов</b>
O1	1	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	0,201	0,021
O2	5	1	1/4	1/6	1/7	1/8	0,394	0,041
O3	6	4	1	1/4	1/5	1/6	0,765	0,08
O4	7	6	4	1	1/3	1/4	1,552	0,163
O5	8	7	5	3	1	1/2	2,737	0,287
O6	9	8	6	4	2	1	3,888	0,408

Для приведенных в табл. 4 данных получаем, что максимальное собственное значение матрицы  $\lambda_{\max} = 6,519$ , величина случайной согласованности составляет 1,24 ( $n=6$ ), отношение согласованности равно 0,084, что меньше допустимого, поэтому пересмотр суждений не требуется. Анализируя закономерности, сведенные в табл. 4, получаем, что наибольший вес управленческих издержек связанных с необходимостью согласования выдаваемых системой рекомендаций с предполагаемым ТП производства имеют ЭА космического назначения, а наи-



меньший – бытовые ЭА. Подобного рода тенденция для первых обусловлена необходимостью адаптации сценариев работы экспертной системы под установившиеся традиции и навыки специалистов-производственников. Небольшой приоритет рассматриваемого фактора для бытовых и стационарных ЭА обусловлен легкой формализацией процесса принятия решений и относительной простотой принимаемых решений.

Функционал эффективности внедрения модификации в существующий процесс производства [4] складывается из

$$J = J_1 + J_2, \quad (3)$$

где  $J_1, J_2$  – составляющие функционала, обусловленные выгодами и издержками от внедрения предлагаемых ПТК для моделирования механических нагрузок ЭА и их составляющих (модифицированный технологический процесс производства).

Составляющие функционала эффективности [4], определяемые на основании метода анализа иерархий [2, 3], имеют вид

$$J_1 = 0.167 \cdot \text{ЭВ} + 0.833 \cdot \text{УВ}, \quad (4)$$

$$J_2 = 0.75 \cdot \text{ЭИ} + 0.25 \cdot \text{УИ}, \quad (5)$$

где ЭВ, УВ – экономические и управленческие выгоды, получаемые от внедрения предлагаемых модификаций в существующий технологический процесс производства ЭА, ЭИ, УИ – соответственно экономические и управленческие издержки, получаемые от внедрения предлагаемых модификаций в существующий технологический процесс производства ЭА.

Зависимости показателей функционала эффективности от признаков, проанализированных методом анализа иерархий, имеют вид

$$\begin{cases} \text{ЭВ} = 0.512 \cdot \text{Пр}1 + 0.135 \cdot \text{Пр}2 + 0.307 \cdot \text{Пр}3 + 0.047 \cdot \text{Пр}4, \\ \text{УВ} = 0.102 \cdot \text{Пр}5 + 0.172 \cdot \text{Пр}6 + 0.726 \cdot \text{Пр}7, \\ \text{ЭИ} = 0.428 \cdot \text{Пр}8 + 0.227 \cdot \text{Пр}9 + 0.176 \cdot \text{Пр}10 + 0.12 \cdot \text{Пр}11 + 0.049 \cdot \text{Пр}12, \\ \text{УИ} = 0.111 \cdot \text{Пр}13 + 0.22 \cdot \text{Пр}14 + 0.667 \cdot \text{Пр}15. \end{cases} \quad (6)$$

где Пр1 – Пр15 – непосредственно анализируемые акторы для исследования рассматриваемой иерархии проблемы.

С учетом результатов обработки статистических выборок, полученных после опроса экспертов (табл. 2 - табл. 4), получаем

$$\begin{cases} \text{Пр}13 = 0.025 \cdot \text{О}1 + 0.052 \cdot \text{О}2 + 0.076 \cdot \text{О}3 + 0.152 \cdot \text{О}4 + 0.315 \cdot \text{О}5 + 0.38 \cdot \text{О}6, \\ \text{Пр}14 = 0.048 \cdot \text{О}1 + 0.057 \cdot \text{О}2 + 0.101 \cdot \text{О}3 + 0.153 \cdot \text{О}4 + 0.283 \cdot \text{О}5 + 0.357 \cdot \text{О}6, \\ \text{Пр}15 = 0.021 \cdot \text{О}1 + 0.041 \cdot \text{О}2 + 0.08 \cdot \text{О}3 + 0.163 \cdot \text{О}4 + 0.287 \cdot \text{О}5 + 0.408 \cdot \text{О}6. \end{cases} \quad (7)$$

где О1 – О6 – непосредственно объекты исследования, манипулируя параметрами и компоновкой которых, влияют на признаки и, наоборот, рассматривая и исследуя политику акторов в отношении объектов влияют на политику и фокус рассматриваемой проблемы.

Систематизировал все имеющиеся сведения об объекте исследований, рассматривая статистически обработанные экспертные оценки экономических и управленческих выгод и издержек, получают следующую динамику анализируемых признаков исследуемых типов ЭА, приведенную в табл. 5.

Таблица 5. Экономические и управленческие признаки для ЭА различного назначения

Тип ЭА Признак	О1	О2	О3	О4	О5	О6
Пр1	0.469	0.247	0.12	0.051	0.079	0.034
Пр2	0.436	0.223	0.147	0.087	0.045	0.062
Пр3	0.04	0.046	0.112	0.153	0.285	0.364
Пр4	0.029	0.047	0.072	0.163	0.276	0.412
Пр5	0.029	0.048	0.084	0.124	0.257	0.457
Пр6	0.038	0.054	0.086	0.157	0.286	0.378
Пр7	0.04	0.054	0.088	0.165	0.222	0.432
Пр8	0.417	0.272	0.141	0.089	0.058	0.024
Пр9	0.37	0.275	0.17	0.087	0.056	0.043
Пр10	0.368	0.292	0.143	0.081	0.081	0.34
Пр11	0.03	0.056	0.097	0.161	0.216	0.44
Пр12	0.459	0.255	0.102	0.076	0.072	0.035
Пр13	0.025	0.052	0.076	0.152	0.315	0.38
Пр14	0.048	0.057	0.101	0.153	0.283	0.357
Пр15	0.021	0.041	0.08	0.163	0.287	0.408

Величины промежуточных функционалов выгод и издержек, а также функционала эффективности внедрения модификации в существующий процесс производства (3) проиллюстрированы в табл. 6.

Анализируя результаты исследования функционала эффективности внедрения модификации в существующий процесс производства, получают, что такое новшество наиболее эффективно для ЭА космического и бытового назначения, а наименее эффективно для технологического процесса производства транспортных ЭА. Данные тенденции объясняются тем, что у космических ЭА большая часть производственной информации систематизируется вводимыми новшествами, формализуются имеющиеся знания и технические наработки существующего высокотехнологического процесса производства, и испытания опытного образца изделия в предполагаемых условиях эксплуатации осуществляются на модели, без циклов возврата производимого изделия на доработку. Для бытового ЭА также характерны подобные факторы достижения управленческих и экономических выгод от предполагаемого внедрения.

Таблиця 6. Функционал эффективности внедрения модификации в существующий процесс производства

Показатель Тип ЭА	ЭВ	УВ	ЭИ	УИ	J <sub>1</sub>	J <sub>2</sub>	J
O1	0.313	0.039	0.353	0.027	0.084	0.272	0.178
O2	0.173	0.053	0.249	0.046	0.073	0.199	0.136
O3	0.119	0.087	0.141	0.084	0.093	0.127	0.11
O4	0.092	0.159	0.095	0.159	0.148	0.111	0.13
O5	0.147	0.237	0.081	0.289	0.222	0.133	0.177
O6	0.157	0.425	0.134	0.393	0.38	0.199	0.29

### Заклучение

В результате проведенных исследований, на основании метода анализа иерархий, были собраны статистические данные по экспертным оценкам параметров, определены управленческие издержки от внедрения модифицированного технологического процесса, проанализированы факторы необходимости привлечения экспертов, опроса большого количества предприятий (и экспертов на предприятии) для сбора статистики, оценена необходимость согласования выдаваемых системой рекомендаций с предполагаемым ТП производства. Определен функционал эффективности внедрения модификации в существующий процесс производства. Наибольший эффект от внедрения предлагаемого модифицированного технологического процесса будут иметь ЭА космического и бытового назначения, наименьший – ЭА транспортного назначения, т.е. данную систему необходимо развивать и в дальнейшем применить математический аппарат оптимизации свойств и параметров изделия для достижения оптимального значения экономико-управленческого функционала (3), что позволит управлять процессом производства с минимальными затратами при максимальном управленческом эффекте, а также разработать механизм влияния этих параметров на структуру и параметры технологического объекта.

### Список використаних джерел

1. Смолий В.Н. Управление производством сложноорганизованных технологических объектов//Вісник СНУ ім.В.Даля.– 2009. - № 2 (132). Ч.2. – С. 46 - 55.
2. Смолий В.Н. Исследование эффективности управления процесса производства электронных аппаратов // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2010.- Вип. 39. – С. 174 - 178.
3. Смолий В.Н. Особенности концепции управления производством электронных аппаратов// Вісник СНУ ім.В.Даля. – 2010. - № 2 (144). - С. 128 - 133.
4. Vitaly Ulshin, Victoria Smoliy. Automated management by designer preparation of production of electronic vehicles/ ТЕКА Ком. Mot. I Energ. Roln. – OL PAN, 2011, 11A, P.276 – 281.
5. Ульшин В.А., Смолий В.Н. Функции лица, принимающего решение, при управлении производством электронных аппаратов// Вісник СНУ ім.В.Даля. – 2011. - № 3 (157) - с. 214 - 220.

## АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ПЛАНУВАННЯ ЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

*Анотація:* У роботі проведено аналіз причин виникнення взаємних завад при роботі радіоелектронних засобів в ускладненій радіоелектронній обстановці, розглянуто сучасний науково-методичний апарат радіомоніторингу з визначенням в ньому електромагнітної обстановки для вирішення задач частотного планування радіоелектронні засоби(РЕЗ) рухомої служби.

*Ключові слова:* джерело радіовипромінення, електромагнітна обстановка, електромагнітна сумісність, пункт технічного радіоконтролю, радіовипромінюючий пристрій, радіорегламент, радіотехнології, радіочастотний ресурс.

### Вступ

Алгоритм припускає проведення аналізу ЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ (ЕМС) РЕЗ у районі планування, а у випадку використання загальної платформи для розміщення РЕЗ - ЕМС локального групування РЕЗ (об'єктова ЕМС).

Об'єкт дослідження – процес визначення електромагнітної обстановки для вирішення задач частотного планування радіоелектронних засобів рухомої служби.

Предмет дослідження – дослідження та розрахунок ЕМС РЕЗ в районі планування.

Мета роботи - дослідження ефективності використання та визначення напрямків удосконалення розрахунку ЕМС РЕЗ в районі планування.

У першому випадку враховуються завади наступних типів [2, 3, 4]:

- по основному каналу;
- по першому сусідньому каналу;
- завади інтермодуляції 3-го порядку.

В другому випадку, крім перерахованих вище, враховуються завади наступних видів [3, 4]:

- по сусідніх каналах;
- інтермодуляція вище 3-го порядку (до 13-го порядку включно);
- блокування;
- по дзеркальному каналу;
- по першій ПЧ;
- на гармоніках.

При проведенні аналізу, вищезазначеної методики був встановлений показник ефективності цієї методики, при менших витратах на виміри електромагнітної обстановки, та рекомендовано для широкого використання цієї методики, при контролі та управлінні радіочастотним ресурсом і забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів.

### Основна частина

Інтенсивний розвиток сфери телекомунікацій безпосередньо пов'язаний з упровадженням у практику нових радіотехнологій і систем зв'язку, появою нових послуг і видів зв'язку. В цих умовах забезпечення потреб у радіочастотному ресурсі усіх категорій користувачів здійснюється за рахунок перерозподілу вже освоєних і подальшого освоєння нових діапазонів в частот.

Перерозподіл частот, у свою чергу, призводить до збільшення навантаження на вже освоєні діапазони радіочастот, що зумовлено зростанням кількості діючих РЕЗ, і до ускладнення електромагнітної обстановки. Освоєння ж нових діапазонів частот диктує необхідність виділення смуг радіочастот для нових радіо технологій, систем і стандартів зв'язку. В цих умовах управління РАДІО-ЧАСТОТНИЙ РЕСУРС (РЧР) і забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) РЕЗ та випромінювальних пристроїв (ВП) мають важливе практичне значення.

Нині у світі зареєстровано понад 127 тисяч передавачів аналогового й більше 2200 передавачів цифрового телебачення, а також більше 66 тисяч передавачів аналогового звукового мовлення, кількість абонентів мереж стільникового зв'язку другого покоління (2G) перевищує 2,5 млрд., кількість абонентів, які працюють у більше ніж 250 мережах зв'язку третього покоління (3G) (CDMA2000 і W-CDMA/UMTS), перевищує 250 млн.

Зрозуміло, що збільшення кількості РЕЗ призводить до перевантаження РЧР і ще більше ускладнює електромагнітну обстановку та ЕМС між РЕЗ і ВП.

Зараз переважна більшість завдань радіомоніторингу вирішується за допомогою автоматизованих методів із застосуванням сучасного обладнання. Але рівень розвитку радіомоніторингу дещо відстає від рівня розвитку телекомунікацій. Донині технічні можливості обладнання радіомоніторингу стосовно діапазону робочих частот обмежувалися в нижній частині РЧР частотою 30 МГц, а в його верхній частині - частотою 3 ГГц. Головним чином це зумовлено тим, що з усіх РЕЗ у смузі частот до 3 ГГц їх зосереджено більше ніж 90 %.

Разом з тим, в останні роки розробники та виробники засобів телекомунікацій приділяють значну увагу вищим діапазонам радіочастот, які вважаються найперспективнішими для практичного освоєння. На цей час в Україні діапазон радіочастот 3,5 ГГц інтенсивно освоюється радіотехнологій

WiMAX, діапазони радіочастот 6/4 ГГц, 8/7 ГГц, 14/11 ГГц і 30/20 ГГц насичуються супутниковими системами зв'язку.

Складність вирішення завдань радіомоніторингу в діапазонах частот понад 3 ГГц зумовлена:

- труднощами виявлення, визначення місцезнаходження ДЖЕРЕЛА РАДІО-ВИПРОМІНЕННЯ (ДРВ) і вимірювання параметрів їхнього радіовипромінювання;
- відмінностями законодавчого регулювання використання РЧР в Україні від ряду європейських країн;
- відсутністю необхідного технічного обладнання й відповідного нормативно-методичного забезпечення радіомоніторингу.

Незважаючи на велике різноманіття радіослужб, радіотехнологій, систем і стандартів зв'язку, які нині існують у світі, на практиці для вирішення завдань радіомоніторингу можна використовувати обмежену кількість методів. Це положення радіо технологій на можливості об'єднання радіо технологій, систем зв'язку в групи за певними критеріями, що сприятиме застосуванню єдиних методів виявлення радіовипромінювань, вимірювання їхніх параметрів, пеленгування та визначення місцезнаходження ДРВ тощо. Залишається лише визначити критерії такої класифікації, розподілити системи радіозв'язку на групи за цими критеріями, відмітити для кожної із груп властиві їй методи радіомоніторингу та перелік технічних параметрів, які потрібно вимірювати та (чи) визначати під час його проведення.

На практиці, говорячи про радіомоніторинг, часто мають на увазі дещо інші поняття, зокрема, контроль параметрів радіосигналів у високочастотних трактах.

В основі процедури підбору частот для РЕЗ лежить аналіз ЕМС РЕЗ, який полягає в розрахунку ЕМС в районі планування та ЕМС локального угруповання РЕЗ (об'єктова ЕМС).

Розрахунок ЕМС РЕЗ в районі планування виконується в наступному порядку:

а) вибір по територіальній ознаці РЕЗ, розташованих в області обмеженої зони дослідження;

б) вибір із РЕЗ, які обрані по територіальній ознаці, по частотній ознаці тих РЕЗ, що потенційно заважають новому частотному присвоєнню:

- визначення можливих джерел завад по основному каналу;
- визначення можливих джерел завад по першому сусідньому каналу;
- визначення можливих джерел завад інтермодуляції 3-го порядку.

в) розрахунок рівня завад на вході приймача:

- по основному каналу;
- по першому сусідньому каналу;
- інтермодуляції 3-го порядку;

г) аналіз отриманих результатів та ухвалення рішення за результатами роз-

рахунків про можливість частотного присвоєння з урахуванням впливу множинної завади або необхідності вибору іншої частоти.

У випадку позитивного рішення щодо можливості присвоєння частот за результатами розрахунку ЕМС, необхідно перевірити наявність інших РЕЗ на спільному майданчику та, при наявності таких, провести розрахунок ЕМС локального групування РЕЗ (об'єктова ЕМС).

ЕМС локального угруповання РЕЗ виконується в наступному порядку:

а) серед РЕЗ, відібраних відповідно з попереднім пунктом вибираються РЕЗ, які розташовані в межах спільного майданчика в колі радіусом до 1 км від БС, що досліджується.

Величина радіусу 1 км обумовлена наступним припущенням – втрати при розповсюдженні радіохвиль для цієї відстані складають  $60 \div 100$  дБ (модель розповсюдження у вільному просторі) у залежності від частотного діапазону, що зводить до мінімуму імовірність впливу на приймач інших видів завад на великих відстанях від передавача. Всі станції, що потрапили в зону, обмежену цим колом, вибираються для проведення подальшого аналізу.

б) РЕЗ, які потенційно можуть створювати завади прийому, що досліджується, або підпадають під дію її завади, відбираються по частотній ознаці серед РЕЗ, вибраних по територіальній ознаці. Для кожного з відібраних передавачів (чи групи передавачів) перевіряється частотна умова можливості створення завади досліджуваному приймачеві або для кожного з відібраних приймачів по групі відібраних передавачів перевіряється частотна умова можливості постановки завад від досліджуваного передавача по наступним видах завад:

- по сусідніх каналах;
- по інтермодуляції 3-го - 13-го порядків;
- по дзеркальному каналу;
- на гармоніках;
- по блокуванню;

в) розраховуються рівні для кожного виду завади;

г) здійснюється аналіз отриманих результатів і, за результатами розрахунків, приймається рішення про можливість частотного присвоєння з урахуванням впливу множинної завади або необхідності вибору іншої частоти. Загальний алгоритм проведення присвоєння частот для РЕЗ приведений на рис. 1.

Втрати при розповсюдженні радіохвиль у вільному просторі [12] (в дБ) визначаються за наступним рівнянням:

$$L_{\text{Prop}} = 32,4 + 20 \cdot \lg(f) + 20 \cdot \lg(r) \quad (1)$$

де  $f$  – частота передавача (МГц);  $r$  – відстань між антенами (км).

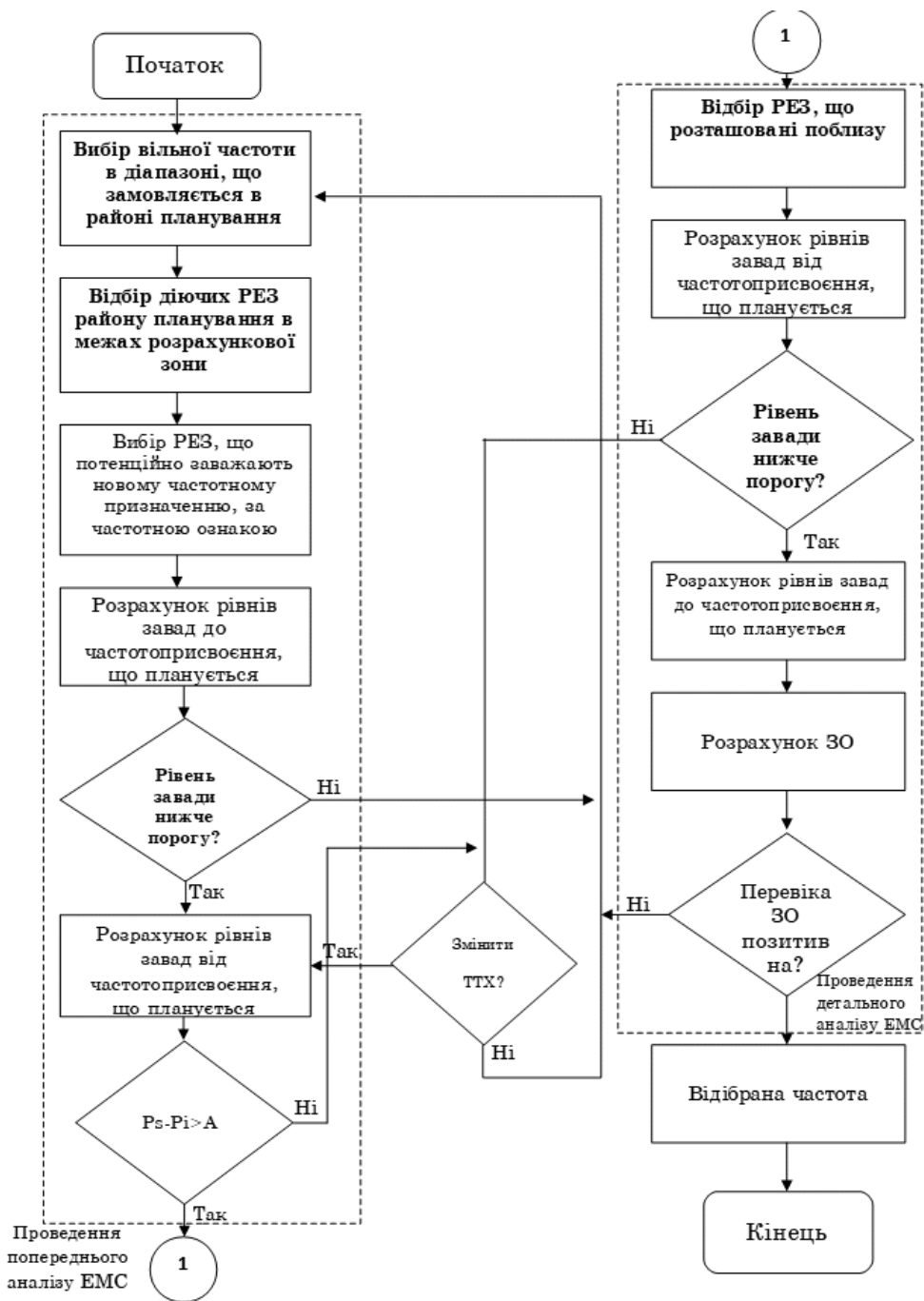


Рис. 1. Загальний алгоритм підбору частот для РЕЗ

На величину втрат розповсюдження радіохвиль у вільному просторі значно впливає як горизонтальний (R), так і вертикальний (H) рознос між антенами. В роботі [13] визначена методика і приведені експериментальні криві, отримані з матеріалів досліджень, як функції взаємних втрат розповсюдження радіохвиль між антенами та вертикальним (горизонтальним) розносом між ними.



Згідно [13] втрати розповсюдження радіохвиль між антенами, рознесеними у вертикальній площині, визначаються як:

$$L_V \approx 28 + 40 \cdot \lg\left(\frac{H}{\lambda}\right) \quad (2)$$

де  $L_V$  – втрати розповсюдження радіохвиль між антенами (дБ);  $H$  – відстань по вертикалі між найближчими точками випромінювання антен (м);  $\lambda$  – довжина хвилі завади (м).

Втрати розповсюдження радіохвиль між антенами, рознесеними в горизонтальній площині, визначаються [13] як:

$$L_H = 22 + 20 \cdot \lg R - 20 \cdot \lg \lambda \quad (3)$$

де  $L_H$  – втрати розповсюдження радіохвиль між антенами (дБ);  $R$  – відстань по горизонталі між антенами (м);  $\lambda$  – довжина хвилі завади (м).

Згідно [13] втрати поширення радіохвиль між антенами, що мають рознос, як у горизонтальній, так і у вертикальній площині визначається:

$$L_{\text{Prop}} = \frac{\left[28 + \left(40 \cdot \lg \cdot \left(\frac{H}{\lambda}\right)\right)\right] \cdot H + \left[22 + 20 \cdot \lg \cdot \left(\frac{R}{\lambda}\right)\right] \cdot R}{H + R} \quad (4)$$

На рис. 2 представлені графіки залежності втрат розповсюдження між антенами від відстані (у вертикальній і горизонтальній площинах) між ними, отримані експериментально [14] і звикористанням формул, приведених вище.

Як видно з рис. 2, дані, отримані аналітично, збігаються з результатами експериментальних досліджень.

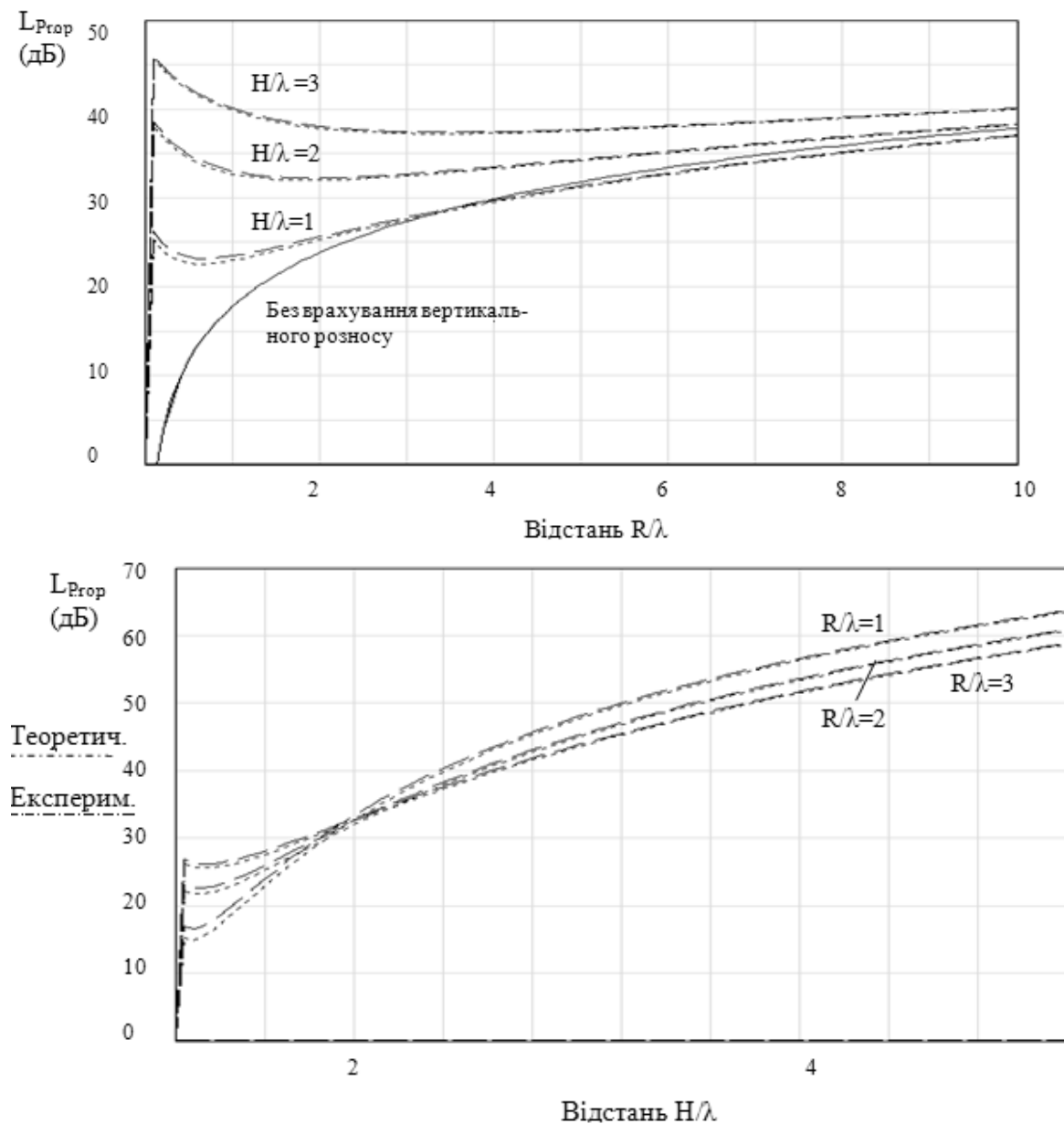
Як впливає з рис. 2, при збільшенні відношення  $R/\lambda$  різниця між величиною втрат, отриманих при розрахунку з урахуванням вертикального розносу між антенами і без його урахування зменшується.

При проведенні розрахунків для різних частотних діапазонів і різних вертикальних розносів між антенами, при відносинах  $\frac{R}{\lambda} \geq 200$ , похибка не перевищувала 1-2 дБ у діапазоні 30-1000 МГц.

Таким чином, дальню зону можна умовно розділити на дві ділянки:

–  $R \leq 200 \times \lambda$ , у цьому випадку втрати розповсюдження визначаються по формулі (3.15);

–  $R \geq 200 \times \lambda$ , у цьому випадку вертикальний рознос між антенами не враховується і розрахунок втрат проводиться за формулою (1).



**Рис. 2.** Втрати розповсюдження при вертикальному та горизонтальному розносі антен

### Висновок

Викладено причини виникнення взаємних завад при роботі радіоелектронних засобів в ускладненій радіоелектронній обстановці, розглянуто сучасний науково-методичний апарат радіомоніторингу з визначенням в ньому електромагнітної обстановки для вирішення задач частотного планування РЕЗ рухомої служби.

Алгоритм припускає проведення аналізу ЕМС РЕЗ у районі планування, а у випадку використання загальної площадки для розміщення РЕЗ - ЕМС локального угруповання РЕЗ (об'єктова ЕМС).

У алгоритмі враховуються завади наступних видів :

- по основному каналу;
- по першому сусідньому каналу;
- завади інтермодуляції 3-го порядку.

При проведенні аналізу, вищезазначеного алгоритму був встановлений показник ефективності, при менших витратах на виміри електромагнітної обстановки, та рекомендовано для широкого використання цієї методики, при контролю та управління радіочастотним ресурсом і забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів.

### Список використаних джерел

1. ГОСТ 23611-79 Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Термины и определения.
2. Иванов В.А., Электромагнитная совместимость РЭС. К.- Техніка, 1983.
3. Князев А.Д., Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. - М.: Радио и связь, 1984.
4. Справочник по управлению использованием спектра на национальном уровне. МСЭ. Бюро радиосвязи. Женева. 1995.
5. Recommendation ITU-R SM. 668-1. Electronic exchange of information for spectrum management purposes.
6. ГОСТ 12252-86, “Радиостанции с угловой модуляцией сухопутной подвижной службы”.
7. РНД 45-104-98, “Радиостанції з кутовою модуляцією сухохідільної рухомої служби загального користування.”
8. Отчет МСЭ-Р 358-3.
9. WG-SE Report. Evaluation Of Minimum Frequency Separation.
10. Recommendation ITU-R P.341-4. The concept of transmission loss for radio links.
11. Recommendation ITU-R SM.337-4. Frequency and distance separations.
12. Recommendation ITU-R PN.525-2. Calculation of free-space attenuation.
13. Bornemann W. [1981] Aerial Installation on Naval Ship. Summary of the paper presented at Antenna Conference, Karlskrona.
14. Соглашение “Вена-99” (Agreement between the Europe telecommunicationns authorities on the coordination of frequencies between the 29,7-43,5 GHz for fixes services and land mobile services. Vienna, June 30<sup>th</sup>, 2000).
15. Справочник. Сети телевизионного и звукового ОБЧ ЧМ вещания. М.: Радио и связь, 1988.

16. Reference: TS/SMG-020505Q. European Telecommunications Standards Institute. Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio transmission and reception (GSM 05.05).

17. Сканирующие антенные системы СВЧ, т.1; Пер. с англ./ Под ред. Г.Т. Маркова и А.Ф. Чаплина. – М.: Советское радио, 1966.

18. Уолтер К. Антенны бегущей волны; Пер. с англ./ Под ред. А.Ф. Чаплина. – М.: Энергия, 1970.

19. Federal Communications Commission (FCC). Office of Engineering & Technology. OET Bulletin 65. Edition 97-01.

20. Ерохин Г.А., Чернышов О.В., Козырев Н.Д., Кочержевский В.Г., Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. М.: Советское радио, 1996.

21. Ерохин Г.А., Кочержевский В.Г., Петровский А.А. Структура ближнего поля проволочных антенн. М.: - Журнал радиоэлектроники, № 3, 1999.

22. Mawrey R. [1998] Determining Power Density Near Antennas to Meet New FCC RF Safety Regulations, UNISite Inc.

23. Recommendation ITU-R IS.851-1. Sharing between the broadcasting service and the fixed and/or mobile services in the VHF and UHF bands.

24. Быховский М.А., Мермельштейн Д.В. Анализ электромагнитной совместимости приемников с учетом явлений блокирования, интермодуляции и перекрестных искажений.

25. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Вып.1. Общие вопросы ЭМС: Межсистемные помехи. Пер. с англ. М.: Сов. Радио, 1977.

26. Recommendation ITU-R SM.1134. Intermodulation interference calculations in the land-mobile service.

## Зміст

О. С. Безпалько, О. М. Польшакова <b>ПОШУК ОПТИМАЛЬНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ПОМІЧНИКА</b> .....	3
О.В. Гриша, Г.А. Любченко <b>ЗАВДАННЯ СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ В УМОВАХ НЕДОВИЗНАЧЕНОСТІ ПОКАЗНИКІВ ВАГИ ТА ОБ'ЄМУ ВАНТАЖУ</b> .....	10
Б. Ю. Жураковський, В. А. Дружинін <b>БАГАТОВИМІРНІ ШТРИХОВІ КОДИ</b> .....	15
О.А. Жученко <b>АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ГРАФІТУВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ВИРОБІВ</b> .....	32
Михайленко В.В., Зіменков Д.К., Святненко В.А., Трубіцин К.В., Чарняк О.С. <b>ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ДЕСЯТИЗОННИМ РЕГУЛЮВАННЯМ НАПРУГИ І ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ</b> .....	42
І. Р. Пархомей, В. В. Недолужко <b>АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧ ЧАСТОТНОГО ПЛАНУВАННЯ</b> .....	48
В.В. Олійник, Є.А. Яременко <b>АЛГОРИТМ УТОЧНЕНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ В НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ</b> .....	56
І.Р. Пархомей, Н.В. Цьопа <b>РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ЦИФРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ВХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ</b> .....	66
В.П. Пасько, В.А. Гасанов, А.С. Гришко, А.В. Максимюк <b>ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНІСТЬ МАТРИЦІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ</b> .....	75
В. А. Паюн <b>СИСТЕМА АДАПТАЦІЇ ДО ЗА КРИТИЧНИХ УМОВ КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ</b> .....	86

М.М. Поліщук

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТІВ  
ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ..... 97**

А.В. Романюк

**АЛГОРИТМ ВРЕМЕННОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ  
УЗЛОВ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ  
ДЛЯ СБОРА ИНФОРМАЦИИ МОНИТОРИНГА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА ..... 106**

В.М. Смолій

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗДЕРЖЕК УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ  
ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ ..... 118**

І. А. Фольборт, І.Р.Пархомей

**АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ПЛАНУВАННЯ  
ЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ  
РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ.....126**

### **УДК 004.891.2**

**Пошук оптимальної нейронної мережі для інтелектуального помічника** / Безпалько О.С., Польшакова О.М. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 2 (33).-С. 3-9

Об'єктом дослідження є визначення оптимальної нейронної мережі для побудови інтелектуального помічника. У статті зроблено огляд основних типів нейронних мереж, яку можуть бути використанні для реалізації проекту. Проведене їхнє порівняння. Зазначення переваги та недоліки вище перерахованих нейронних мереж, при застосуванні їх у даному проекті.

У процесі дослідження розглядаються наступні нейронні мережі. Межера прямого поширення, а саме перцептрона Розенблатта, а, також, більш вдосконалена нейронна мережа — багатошаровий перцептрон Розенблатта та нейронна мережа Ворда. Рекурентні нейронні мережі, основна особливість який полягає у тому, що після першого навчання сигнал передається у зворотному напрямку. Типовим представником цього типу нейронних мереж є мережа Хопфілда. Мережі зустрічного поширення. На відміну від мереж зі зворотним поширенням помилки ці мережі призначені для початкового швидкого моделювання. Глибинні нейронні мережі, на прикладі одного з їхніх представників — згорткової нейронної мережі.

*Ключові слова:* інтелектуальний помічник, нейронні мережі прямого поширення, зустрічного поширення, глибокі нейронні мережі, рекурентні нейронні мережі.

Бібл.5, іл. 4

### **УДК 004.421**

**Завдання складання розкладу перевезення в умовах недовизначеності показників ваги та об'єму вантажу** / Гриша О.В., Любченко Г.А. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 2 (33).-С. 10-14

Розглянуто завдання складання розкладу перевезення в умовах недовизначеності показників ваги та об'єму вантажу.

Це завдання складання розкладу перевезень на зміну поставлено так, щоб різниця у навантаженні на кожного з водіїв, відхилення реально перевезеного від замовленого об'єму перевезень на зміну та вартість виконання всього об'єму перевезень були мінімальними при умові не перевищення тривалості робочої зміни водіїв.

Специфічні умови завдання: початковий пункт, місце призначення вантажу та кінцевий пункт прибуття однакові для усіх транспортних засобів. Наразі усі транспортні засоби мають однакову місткість та вантажні одиниці мають однаковий тип. Одна вантажна одиниця може бути обслугованим лише одним транспортним засобом. Оскільки кожен рейс закінчується відвантаженням у одну точку призначення, то тільки ця точка може повторюватися у маршруті рейсу двічі. Перевантаження транспортних засобів не припустимо і момент повного завантаження визначається динамічна тільки в процесі обслуговування. Матриця відстаней між вантажними одиницями задовольняє нерівності трикутника.

Запропоновано евристичний алгоритм вирішення задачі, що складається з динамічного розподілу вантажних одиниць на кластери та пошуку наближеного рішення знаходження маршруту у кластері. Для пошуку маршруту використано гібридний алгоритм - перегляд перестановок методом локального пошуку та для кожної перестановки застосування наближеного алгоритму отримання набору маршрутів.

Поданий метод вирішення специфічної задачі типу комівояжера дозволяє отримати прийнятне рішення в заданому проміжку часу проходження екземпляру процесу діяльності, дозволяє враховувати попередні результати складання маршрутів і може бути використаним в умовах недовизначеності показника наповненості вантажних одиниць обслуговування.

*Ключові слова:* логістика, алгоритми пошуку маршрутів, алгоритми складання розкладів перевезень.

Бібл. 3

### **УДК 681.391(07)**

**Багатовимірні штрихові коди** / Жураковський Б.Ю., Дружинін В.А. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 2 (33).-С. 15-31

Актуальність дослідження обумовлена наступними причинами: динамічний розвиток систем обробки інформації, суттєве збільшення кількості інформації, яка передається інформаційними мережами, збільшення можливостей штрихових кодів для передачі різноманітної інформації.

У багатьох сферах людської життєдіяльності часто стоїть завдання збору даних, які надходять від великого числа джерел, їх обробки, і забезпечення реакції, відповідної зафіксованим подіям. Щоб здійснювати подібну діяльність автоматизовано, необхідно забезпечити обмін інформацією з мінімальним часом її зчитування та обробки. Широко вживані лінійні штрихові коди не надають такої можливості. Обсяг інформації, закодований таким кодом дуже обмежений. Велика кількість двовимірних штрихових кодів, які були розроблені, мають суттєві недоліки в обсягах інформації, що передається та захисту від спотворень. І хоча майже усі розроблені коди застосовуються в різних галузях, але переважна більшість має дуже вузьку направленість. Це, або маркування деревини на лісозаготовках, або маркування білизни в прачечних господарствах, або маркування лабораторного посуду, або застосування в різноманітних посвідченнях, або вміщує посилання на сторінку в мережі Інтернет. Деякі з штрихових кодів мають дуже маленьку площину зчитування і тому використовуються для маркування різноманітних мікросхем та інших мініатюрних пристроїв.

В статті наведено основні відмінності двовимірних та тривимірних штрихових кодів, проблеми і особливості сучасних двовимірних, тривимірних та чотиривимірних кодів. Основні області, де двовимірні штрихові коди сьогодні використовуються.

Наведена класифікація штрихових кодів за видом. Розглянуто особливості штрихових кодів розроблених для оптимізації одного чи кілька критеріїв. До так их критеріїв відносяться: висока інформаційна щільність, або високий дозвіл, оптимальне розташування даних, легкість дешифрування.

Висока інформаційна щільність, або високий дозвіл означає, що мініатюрні типи штрих-коду можуть бути надруковані і використані на виробках, де місце для кріплення обмежено, наприклад, друковані плати.

Оптимальне розташування даних, означає, що можливість виникнення помилок читання практично нульова. Це дуже важливо для застосувань штрих коду в медицині.

Легкість дешифрування означає, що деякі типи штрихових кодів використовують технологію кодування, яка широко підтримується виробниками сканерів. Штрих коди, наприклад, що використовуються в роздрібній торгівлі, мають точно визначений зміст даних. Вони структуруються для забезпечення зручності великої кількості користувачів.

Деякі типи штрих коду розроблені з підтримкою значної кількості наборів символів, тоді як інші підтримують лише цифрові дані.



Серії кодів, в яких дані кодується у вигляді кількох рядків звичайних одновимірних штрихових кодів отримала назву багаторядний код або стекова символіка.

Назва матричний код застосовується для позначення двовимірних кодів, заснованих на розташуванні чорних елементів усередині матриці. Кожен чорний елемент має однаковий розмір і позиція елемента кодує дані.

В роботі проведено порівняння трьох циклічних завадостійких кодів: БЧХ, Ріда-Соломона та Файра. Отримані дані дали змогу зробити висновок, що найменший коефіцієнт надмірності має код Файра, адже цей код коротший від коду БЧХ та коду Ріда-Соломона. Таким чином найменшу надмірність повідомлення забезпечить код Файра. В зв'язку з тим, що в більшості випадків використовується рівень корекції від 30 до 60% можливо використовувати код Файра, з меншою надмірністю, ніж код Ріда-Соломона. Це дасть можливість записати більшу кількість інформації користувача, майже при такій ж ступені корекції помилок, як й при використанні коду Ріда-Соломона.

*Ключові слова:* штрихове кодування, двовимірні, тривимірні та чотиривимірні штрихові коди, матричні штрихові коди, композитні штрихові коди, сканери штрих-кодів, шари даних, рівень корекції помилок.

Бібл. 7, іл. 3, табл. 3

#### **УДК 681.51**

**Алгоритм керування процесом графітування вуглецевих виробів** /Жученко О.А. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2018.- № 2 (33).-С. 32-41

Виробництво графітованої продукції складне, багатостадійне та дуже енергоємне. При цьому на заключну стадію – процес графітування – припадає до 80% загальних енерговитрат, що становить 8-10 МВт-годин на 1 тону продукції. Тому задача підвищення ефективності процесу графітування у виробництві вуглецевих виробів є актуальною науково-технічною задачею особливо в сучасних умовах постійного зростання вартості енергоносіїв. Задача оптимального керування процесом графітування вуглецевих виробів формулюється таким чином: за рахунок інтенсифікації процесу досягти його мінімальної тривалості при умові забезпечення заданого ступеня графітування готової продукції.

Метою роботи є розроблення алгоритму керування, що забезпечує випуск готової продукції заданої якості при функціонування процесу графітування у режимі ресурсо- та енергозбереження з урахуванням можливих непередбачуваних відключень енергоживлення.

*Ключові слова:* Вуглецеві вироби, керування, алгоритм, графітування, імітаційне моделювання, печі Ачесона, схема-алгоритм.

Бібл. 16, іл. 2, табл. 1

#### **УДК 621.3.011.74.005**

**Дослідження електромагнітних процесів у перетворювачі з десятизонним регулюванням напруги і електромеханічним навантаженням** / Михайленко В.В., Зіменков Д.К., Святненко В.А., Трубіцин К.В., Чарняк О.С // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 2 (33).-С. 42-47

У статті проведено аналіз електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами. Створено математичну модель перетворювача з де-

сятизонним регулюванням вихідної напруги для аналізу електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах з широтно-імпульсним регулюванням. Наведено графіки, що відображають електромагнітні процеси у електричних колах. Математична модель напівпровідникового перетворювача також використовується для дослідження перехідних процесів у напівпровідникових перетворювачах з активно-індуктивним навантаженням. Розвинуто метод багатопараметричних функцій, які входять до алгоритмічних рівнянь аналізу усталених і перехідних процесів у розгалужених електричних колах з напівпровідниковими комутаторами і реактивними елементами, в напрямку урахування особливостей використання фазних і лінійних напруг мережі електроживлення. Розроблено нову математичну модель усталених і перехідних процесів у електричних колах напівпровідникових перетворювачів модуляційного типу з багатоканальним зонним використанням фазних напруг трифазної мережі живлення без урахування втрат електроенергії у комутаторах для швидкої оцінки впливу параметрів навантаження на характеристики регульованих синусоїдних і постійних напруг. Результати цієї роботи можна використати для розвитку методу багатопараметричних модулюючих функцій для спрощення аналізу перехідних процесів у електричних колах без врахування втрат у ключових елементах.

*Ключові слова:* напівпровідниковий перетворювач, десятизонне регулювання напруги, електромагнітні процеси.

Бібл. 4, іл. 3

#### **УДК 004.042**

**Алгоритм визначення електромагнітної сумісності для рішення задач частотного планування** / І.Р. Пархомей, В.В. Недолужко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 2 (33).-С. 48-55

Об'єкт дослідження – процес визначення електромагнітної обстановки для вирішення задач частотного планування радіоелектронних засобів рухомої служби. Предмет дослідження – дослідження та розрахунок ЕМС РЕЗ в районі планування. Мета роботи – дослідження ефективності використання та визначення напрямків удосконалення розрахунку ЕМС РЕЗ в районі планування.

Методика припускає проведення аналізу ЕМС РЕЗ у районі планування, а у випадку використання загальної площадки для розміщення РЕЗ - ЕМС локального угруповання РЕЗ (об'єкта ЕМС).

У роботі викладено причини виникнення взаємних завад при роботі радіоелектронних засобів в ускладненій радіоелектронній обстановці, розглянуто сучасний науково-методичний апарат радіомоніторингу з визначенням в цьому місці електромагнітної обстановки для вирішення частотного планування РЕЗ.

У роботі проведено аналіз причин виникнення взаємних завад при роботі радіоелектронних засобів в ускладненій радіоелектронній обстановці, розглянуто сучасний науково-методичний апарат радіомоніторингу з визначенням в ньому електромагнітної обстановки для вирішення задач частотного планування РЕЗ рухомої служби.

*Ключові слова:* джерело радіовипромінення, електромагнітна обстановка, електромагнітна сумісність, пункт технічного радіоконтролю, радіовипромінюючий пристрій, радіорегламент, радіотехнології, радіочастотний ресурс.

Бібл. 5, іл. 2

### **УДК 004.021**

**Алгоритм уточненого позиціонування в навігаційних системах доповненої реальності** / Олійник В.В., Яременко Є.А. // Міжвідомчий науково-технічний журнал «Адаптивні системи автоматичного управління». 2018. № 2 (33).С. 56-65

Об'єктом дослідження є система навігації користувача на місцевості з використанням технології доповненої реальності. Для її повноцінної роботи необхідно здійснювати високоточне позиціонування та орієнтацію користувача в просторі. У статті розглянуто особливості навігаторів доповненої реальності та зроблено огляд основних підходів до підвищення точності їх позиціонування, на основі чого запропоновано спосіб уточнення місцеположення пристрою. Для цього пропонується у якості вхідних даних окрім GPS-координат використовувати також значення локальних зміщень пристрою, що визначаються гіроскопом та акселерометром. Точність виміряних вказаними приладами локальних зміщень підвищується за рахунок їх корегування при розпізнаванні реальних поверхонь та їх зміщень на основі даних з відеокамери пристрою, що стає можливим при використанні технології доповненої реальності.

*Ключові слова:* навігаційна система, методи позиціонування та орієнтації, доповнена реальність.

Бібл. 12, іл. 4

### **УДК 004.652**

**Розробка алгоритму цифрової фільтрації вхідної інформації робототехнічної системи** / Пархомей І.Р., Цьопа Н.В. // Міжвідомчий науково-технічний журнал «Адаптивні системи автоматичного управління». 2018. № 2 (33).С. 66-74

У ряді областей техніки форму сигналів пов'язують з об'єктом дослідження, прикладом цього служать радіолокація, технічна та медична діагностика, телеметрія та ін. Як правило, тут мають місце нестационарні випадкові сигнали малої тривалості у часі. В результаті обробки таких сигналів, наприклад, за допомогою лінійного цифрового фільтра, їх форма, а, отже, діагностичні ознаки що містяться в ньому можуть бути сильно спотворені. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розробка алгоритмів цифрової фільтрації сигналів, спрямованих на збереження їх первісної форми.

Метою даної роботи є розробка алгоритму цифрової фільтрації сигналів на основі математичного апарату швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Для досягнення поставленої мети в роботі був проведений аналіз існуючих способів цифрової фільтрації сигналів та здійснено синтез алгоритму цифрової фільтрації на основі математичного апарату ШПФ. В результаті отриманих досліджень було визначено, що для збільшення швидкодії ШПФ необхідно організувати таким чином, щоб на кожній стадії дані для обробки можна було б зчитувати з пам'яті послідовно. Для цього на попередній стадії результати обчислень потрібно зберігати в необхідному порядку. Розглянутий алгоритм був реалізований на процесорі ARM Cortex-M3. Час виконання перетворення Фур'є для 128 точок включаючи збереження контексту склав 1900 тактів (менше 15 тактів на точку), що на 20% швидше найкращого з відомих результатів (2400 тактів, менш 19 тактів на точку) для алгоритмів, що виконують обчислення «на місці».

*Ключові слова:* цифро-аналоговий перетворювач, цифрова обробка сигналів, швидке перетворення Фур'є, мікроконтролер ARM Cortex-M3.

Бібл. 5, іл. 4, табл. 1

#### **УДК 004.042**

**Інтероперабельність матриці прийняття рішень для оцінювання ризиків інформаційної безпеки** / Пасько В.П., Гасанов В.А., Гришко А.С., Максимюк А.В. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 2 (33).-С. 75-85

Об'єктом дослідження є розробка технології оцінки ризиків впровадження хмарних технологій в управлінні корпорацією. У статті зроблено огляд базових підходів, які використовуються для побудови технології оцінки. Їм притаманні певні обмеження, що визначені розробленими міжнародними стандартами.

Метою роботи є екстраполяція наявних аналітичних інтерпретацій управління ризиками хмарних технологій, зважаючи на міжнародні стандарти, та забезпечення інтертекстуальності моделей підвищення ефективності оцінки ризиків.

Для досягнення мети пропонується аналіз наявних міжнародних стандартів, попередніх розроблених моделей та методик, які використовуються корпораціями для оцінки ризиків, визначення переваг та недоліків для прийняття подальших рішень на основі розроблених критеріїв, оптимізація та прискорення вибору оптимального способу мінімізації інформаційного ризику.

*Ключові слова:* ризик, оцінка ризиків, управління ризиками, хмарні технології, прийняття управлінських рішень.

Бібл. 26, іл. 5, табл. 4

#### **УДК 621.398.96**

**Система адаптації до за критичних умов керування безпілотним літальним апаратом** / В.А. Паюн // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 2 (33).-С. 86-96

У статті пропонується удосконалення системи керування польотом безпілотним літальним апаратом з метою надійного і своєчасного забезпечення доставки його у заданий район в умовах інформаційної невизначеності.

З цією метою в роботі вирішуються задачі:

розробка методики ідентифікації вхідної ситуації і виробітки керуючих рішень у системі керування польотом (СКП) безпілотним літальним апаратом (БПЛА) із використанням апарата нечіткої математики;

розробка алгоритмів керування польотом БПЛА, що забезпечують необхідну імовірність забезпечення доставки БПЛА у заданий район (ціль) в умовах обмеженого об'єму інформації про параметри траєкторії на борту БПЛА;

застосування та розвиток методики синтезу алгоритмів керування польотом БПЛА, що дозволяє реалізувати розроблені алгоритми на математичній моделі з оцінкою працездатності та ефективності синтезованої СКП БПЛА.

*Ключові слова:* система керування польотом, пеленг об'єкту, адаптивні команди керування.

Бібл. 1, іл. 13

#### **УДК 621.865.8(031)**

**Підвищення енергоефективності роботів вертикального переміщення** / Поліщук М.М. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 2 (33).-С. 97-105

Розглядаються методи підвищення енергоефективності технологічних роботів вертикального переміщення, а саме способи зменшення енергозатрат шляхом вдоско-

налення їх системи автоматичного керування за рахунок інтеграції модулів утримання на поверхні переміщення та моніторингу її топології.

Запропоновано побудування системи керування роботом вертикального переміщення на основі теорії генетичних алгоритмів.

*Ключові слова:* мобільні роботи, керування роботами вертикального переміщення, генетичні алгоритми

Бібл. 3, іл. 2

#### **УДК 621.396.4**

**Алгоритм тимчасової кластеризації вузлів безпроводних сенсорних мереж для збирання інформації моніторингу з використанням безпілотних літальних апаратів** / Романюк А.В. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 2 (33).-С. 106-117

Мета статті: розробити алгоритм кластеризації і збору інформації моніторингу БПЛА безпосередньо з вузлів БСС, що дозволяє скоротити довжину маршруту (і, відповідно, час збору даних), зменшити витрату енергії батарей сенсорних вузлів за рахунок різних правил збору даних в отриманих кластерах (і, відповідно, збільшити час функціонування мережі), мінімізувати число використовуваних БПЛА.

В статті запропоновано алгоритм кластеризації в (БСМ) за допомогою безпілотного літального апарату (БлЛА), що виконує роль тимчасового головного вузла кластера. Даний алгоритм кластеризації базується на модифікованому алгоритмі FOREL, що дозволяє мінімізувати кількість точок збору інформації (кластерів) в маршруті польоту та оптимізувати зону радіозв'язності БлЛА. Наведені правила зменшення витрати енергії вузлів при взаємодії з БлЛА. Реалізація алгоритму дозволить зменшити час збору даних і збільшити час функціонування БСМ.

*Ключові слова:* безпроводна сенсорні мережі, кластеризація, FOREL, збір інформації с БПЛА.

Бібл.11, іл. 5.

#### **УДК 681.5**

**Дослідження витрат управління процесом виробництва електронних апаратів** / Смолій В.М. // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 2 (33).-С. 118-125

В результаті проведених досліджень, на підставі методу аналізу ієрархій, були зібрані статистичні дані за експертними оцінками параметрів, визначені управлінські витрати від впровадження модифікованого технологічного процесу. Проаналізовані складові управлінських витрат, обумовлені необхідністю залучення експертів, опитування великої кількості підприємств для збору статистики і узгодження виданих системою рекомендацій з передбачувані ТП виробництва. Визначений функціонал ефективності впровадження модифікації в існуючий процес виробництва, досліджена динаміка даного функціоналу для різних за призначенням, умовам експлуатації і конструктивному оформленню технологічних об'єктів.

Бібл. 5, іл. -, табл. 6

#### **УДК 62-5**

**Алгоритмізація та планування електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів** / І.Р.Пархомей, І. А. Фольборт // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». -2018.- № 2 (33).-С. 126-134

Об'єктом дослідження є процес визначення електромагнітної обстановки для вирішення задач частотного планування радіоелектронних засобів. На сьогоднішній день

у світі зареєстровано понад 127 тисяч передавачів аналогового й більше 2200 передавачів цифрового телебачення, а також більше 66 тисяч передавачів аналогового звукового мовлення. Кількість абонентів мереж стільникового перевищує 2 мільярди. За такої радіоелектронної обстановки значно ускладнюється процес підтримки вже існуючих, та впровадження нових мультимедійних технологій передачі даних.

Метою роботи є дослідження ефективності використання та визначення напрямків удосконалення розрахунку електромагнітної обстановки радіоелектронних засобів (РЕЗ) в районі планування. Для досягнення мети проаналізовано вплив основних типів завад, що створюють суттєві перешкоди при передачі та фільтрації кінцевого радіосигналу. Розглянуто загальний алгоритм підбору частот для РЕЗ, та викладено причини виникнення взаємних завад при роботі радіоелектронних засобів в ускладненій радіоелектронній обстановці.

*Ключові слова:* джерело радіовипромінювання, електромагнітна обстановка, електромагнітна сумісність, пункт технічного радіоконтролю, радіовипромінюючий пристрій, радіотехнології, радіочастотний ресурс

Бібл. 26, іл. 2

### **УДК 004.891.2**

**Поиск оптимальной нейронной сети для интеллектуального помощника /** Безпалько А.С., Польшакова О.М. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 2 (33).-С. 3-9

Объектом исследования является определение оптимальной нейронной сети для построения интеллектуального помощника. В статье сделан обзор основных типов нейронных сетей, которые могут быть использованы для реализации проекта. Проведено их сравнения. Указаны преимущества и недостатки перечисленных нейронных сетей, при применении их в данном проекте.

В процессе исследования рассматриваются следующие нейронные сети. Сеть прямого распространения, а именно перцептрон Розенблатта, а также, более усовершенствованная нейронная сеть — многослойный перцептрон Розенблатта и нейронная сеть Ворда. Рекуррентные нейронные сети, основная особенность которых заключается в том, что после первого обучения сигнал передается в обратном направлении. Типичным представителем этого типа нейронных сетей является сеть Хопфилда. Сети встречного распространения. В отличие от сетей с обратным распространением ошибки эти сети предназначены для начального быстрого моделирования. Глубинные нейронные сети, на примере одного из их представителей — згортковых нейронной сети.

*Ключевые слова:* интеллектуальный помощник, нейронные сети прямого распространения, встречного распространения, глубокие нейронные сети, рекуррентные нейронные сети.

Библ.5, ил. 4

### **УДК 004.421**

**Задание составления расписания перевозки в условиях недоопределенности показателей веса и объема груза /** Гриша Е.В., Любченко Г.А. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». - 2018.- № 2 (33).-С. 10-14

Рассмотрено задание составления расписания перевозки в условиях недоопределенности показателей веса и объема груза. Данная задача составления расписания перевозок на смену поставлена так, чтобы разница в нагрузке на каждого из водителей, отклонения реально перевозимого от заказанного объема перевозок на смену и стои-

мость выполнения всего объема перевозок были минимальными при условии не превышения продолжительности рабочей смены водителей.

Специфические условия задачи: начальный пункт, место назначения груза и конечный пункт прибытия одинаковы для всех транспортных средств. Все транспортные средства имеют одинаковую емкость и грузовые единицы имеют одинаковый тип. Одна грузовая единица может быть обслужена только одним транспортным средством. Поскольку каждый рейс заканчивается отгрузкой в одну точку назначения, то только эта точка может повторяться в маршруте рейса дважды. Перегрузка транспортных средств недопустима и момент полной загрузки определяется динамически только в процессе обслуживания.

Предложенный эвристический алгоритм решения задачи, состоит из динамического распределения грузовых единиц в кластеры и поиска приближенного решения нахождения маршрута в кластере. Для поиска маршрута использовано гибридный алгоритм - просмотр перестановок методом локального поиска и для каждой перестановки применение приближенного алгоритма получения набора маршрутов.

Представленный метод решения специфической задачи типа коммивояжера позволяет получить приемлемое решение в заданном промежутке времени прохождения экземпляра процесса деятельности, позволяет учитывать предварительные результаты составления маршрутов и может быть использован в условиях недоопределенности показателя наполненности грузовых единиц обслуживания.

*Ключевые слова:* логистика, алгоритмы поиска маршрутов, алгоритмы составления расписаний перевозок.

Библ. 3.

#### **УДК 681.391(07)**

**Многомерные штриховые коды** /Жураковский Б.Ю., Дружинин В.А. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 2 (33).-С. 15-31

Актуальность исследования обусловлена следующими причинами: динамичное развитие систем обработки информации, существенное увеличение количества информации, которая передается информационными сетями, увеличение возможностей штриховых кодов для передачи различной информации.

Во многих сферах человеческой жизнедеятельности часто стоит задача сбора данных, поступающих от большого числа источников, их обработки и обеспечение реакции, соответствующей зафиксированным событиям. Чтобы осуществлять подобную деятельность автоматизировано, необходимо обеспечить обмен информацией с минимальным временем ее считывания и обработки. Широко применяемые линейные штриховые коды не предоставляют такой возможности. Объем информации, закодированный таким кодом очень ограничен. Большое количество двумерных штриховых кодов, которые были разработаны, имеют существенный недостаток в объемах передаваемой информации и защиты от искажений. И хотя почти все разработанные коды применяются в различных отраслях, но подавляющее большинство имеет очень узкую направленность. Это или маркировки древесины на лесозаготовках, или маркировки белья в прачечных хозяйствах, или маркировки лабораторной посуды, или применения в различных удостоверениях, или содержит ссылку на страницу в сети Интернет. Некоторые из штриховых кодов имеют очень маленькую плоскость считывания и поэтому используются для маркировки различных микросхем и других миниатюрных устройств.

В статье приведены основные различия двумерных и трехмерных штриховых кодов, проблемы и особенности современных двумерных, трехмерных и четырехмерных кодов. Основные области, где двумерные штриховые коды сегодня используются.

Приведена классификация штриховых кодов по виду. Рассмотрены особенности штриховых кодов разработанных для оптимизации одного или нескольких критериев. К таким критериям относятся: высокая информационная плотность или высокое разрешение, оптимальное расположение данных, легкость дешифровки.

Высокая информационная плотность, или высокое разрешение означает, что миниатюрные типы штрих-кода могут быть напечатаны и использованы в изделиях, где место для крепления ограничено, например, печатные платы.

Оптимальное расположение данных, означает, что возможность возникновения ошибок чтения практически нулевая. Это очень важно для приложений штрих кода в медицине.

Легкость дешифровки означает, что некоторые типы штриховых кодов используют технологию кодирования, которая широко поддерживается производителями сканеров. Штрих коды, например, используемые в розничной торговле, имеют точно определенный смысл данных. Они структурируются для обеспечения удобства большого количества пользователей.

Некоторые типы штрих кодов разработаны с поддержкой большого количества наборов символов, тогда как другие поддерживают только цифровые данные.

Серии кодов, в которых данные кодируются в виде нескольких строк обычных одномерных штриховых кодов получила название многорядный код или стековая символика.

Название матричный код применяется для обозначения двумерных кодов, основанных на расположении черных элементов внутри матрицы. Каждый черный элемент имеет одинаковый размер и позиция элемента кодирует данные.

В работе проведено сравнение трех циклических помехоустойчивых кодов: БЧХ, Рида-Соломона и Файра. Полученные данные позволили сделать вывод, что наименьший коэффициент избыточности имеет код Файра, ведь этот код короче кода БЧХ и кода Рида-Соломона. Таким образом наименьшую избыточность сообщения обеспечит код Файра. В связи с тем, что в большинстве случаев используется уровень коррекции от 30 до 60% возможно использовать код Файра, с меньшей избыточностью, чем код Рида-Соломона. Это позволит записать большее количество информации пользователя, почти при такой же степени коррекции ошибок, как и при использовании кода Рида-Соломона.

*Ключевые слова:* Штриховое кодирование, двумерные, трехмерные и четырехмерные штриховые коды, матричные штриховые коды, композитные штриховые коды, сканеры штрих-кодов, слои данных, уровень коррекции ошибок.

Библ. 7, ил. 3, табл. 3

УДК 681.51

**Алгоритм управления процессом графитирование углеродных изделий / Жученко А.А. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 2 (33).-С. 32-41**

Производство графитированной продукции сложный, многостадийный и очень энергоемкий процесс. При этом на заключительную стадию - процесс графитирование - приходится до 80% общих энергозатрат, что составляет 8-10 МВт-часов на 1 тонну продукции. Поэтому задача повышения эффективности процесса графитирование в производстве углеродных изделий является актуальной научно-технической задачей,



особенно в современных условиях постоянного роста стоимости энергоносителей. /Задача оптимального управления процессом графитирования углеродных изделий формулируется следующим образом: за счет интенсификации процесса достичь его минимальной продолжительности при условии обеспечения заданной степени графитирования готовой продукции.

Целью работы является разработка алгоритма управления, который обеспечивает выпуск готовой продукции заданного качества при функционировании процесса графитирования в режиме ресурсо- и энергосбережения с учетом возможных непредвиденных отключений энергопитания.

*Ключевые слова:* Углеродные изделия, управление, алгоритм, графитирование, имитационное моделирование, печи Ачесона, схема-алгоритм.

Библ. 16 ил. 2, табл. 1

### **УДК 621.3.011.74.005**

**Исследование электромагнитных процессов в преобразователе с десятизонным регулированием напряжения и электромеханической нагрузкой** / Михайленко В.В., Зименков Д.К., Святненко В.А., Трубицин К.В., Чарняк О.С // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 2 (33).-С. 42-47

В статье проведено анализ электромагнитных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами. Создана математическую модель преобразователя с десятизонным регулированием выходного напряжения для анализа электромагнитных процессов в полупроводниковых преобразователях с широтно-импульсным регулированием. Показано графики, что электромагнитные процессы в электрических цепях. Математическая модель полупроводникового преобразователя также используется для исследования переходных процессов в полупроводниковых преобразователях с активно-индуктивной нагрузкой. Развита метод многопараметрических функций, какие входят в алгоритмические уравнения анализа установившихся и переходных процессов в разветвленных электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами и реактивными элементами, в направлении учета особенностей использования фазных и линейных напряжений сети электропитания. Разработана новая математическая модель установившихся и переходных процессов в электрических цепях полупроводниковых преобразователей модуляционного типа с многоканальным зонным использованием фазных напряжений трехфазной сети питания без учета потерь электроэнергии в коммутаторах для быстрой оценки влияния параметров нагрузки на характеристики регулированных синусоидальных и постоянных напряжений. Результаты этой работы можно использовать для развития метода многопараметрических модулирующих функций для упрощения анализа переходных процессов в электрических цепях без учета потерь в ключевых элементах.

*Ключевые слова:* полупроводниковый преобразователь, десятизонное регулирование напряжения, электромагнитные процессы.

Библ. 4, ил. 3

### **УДК 004.042**

**Алгоритм определения электромагнитной совместимости для решения задач частотного планирования** / И.Р. Пархомей, В.В. Недолужко // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». - 2018.- № 2 (33).-С. 48-55

Объект исследования - процесс определения электромагнитной обстановки для решения задач частотного планирования радиоэлектронных средств подвижной службы.

Предмет исследования - исследования и расчет ЭМС РЭС в районе планирования. Цель работы исследования эффективности использования и определение направлений совершенствования расчет ЭМС РЭС в районе планирования.

Методика предполагает проведение анализа ЭМС РЭС в районе планирования, а в случае использования общей площадки для размещения РЭС - ЭМС локального группировки РЭС (объектовая ЭМС).

В работе изложены причины возникновения взаимных помех при работе радиоэлектронных средств в осложненной радиоэлектронной обстановке, рассмотрено современное научно-методический аппарат радиомониторинга с определением в этом месте электромагнитной обстановки для решения частотного планирования РЭС.

В работе проведен анализ причин возникновения взаимных помех при работе радиоэлектронных средств в осложненной радиоэлектронной обстановке, рассмотрено современное научно-методический аппарат радиомониторинга с определением в нем электромагнитной обстановки для решения задач частотного планирования РЭС подвижной службы.

*Ключевые слова:* источник радиоизлучения, электромагнитная обстановка, электромагнитная совместимость, пункт технического радиоконтроля, радиоизлучающих устройство, радиорегламент, радиотехнологии, радиочастотный ресурс.

Библ. 5, ил. 2

#### **УДК 004.021**

**Алгоритм уточненного позиционирования в навигационных системах дополненной реальности** / Олейник В.В., Яременко Е.А. // Межведомственный научно-технический журнал «Адаптивные системы автоматического управления». 2018. № 2 (33). С. 56-65

Объектом исследования является система навигации пользователя на местности с использованием технологии дополненной реальности. Для ее полноценной работы необходимо осуществлять высокоточное позиционирование и ориентацию пользователя в пространстве. В статье рассмотрены особенности навигаторов дополненной реальности и сделан обзор основных подходов для повышения точности их позиционирования. На основе проанализированных данных было предложено способ уточнения местоположения девайса. Для этого предлагается в качестве входных данных кроме GPS-координат использовать также значения локальных смещений прибора, определенных гироскопом и акселерометром. Точность измеренных данными приборами локальных смещений повышается за счет их корректировки при распознавании реальных поверхностей и их смещений на основе данных с видеокамеры девайса, что стало возможным при использовании технологии дополненной реальности.

*Ключевые слова:* навигационная система, методы позиционирования и ориентации, дополнительная реальность.

Ист. 12, лит. 4

#### **УДК 004.652**

**Разработка алгоритма цифровой фильтрации входной информации робототехнических систем** / Пархомей И.Р., Цёпа Н.В. // Межведомственный научно-технический журнал «Адаптивные системы автоматического управления». 2018. № 2 (33). С. 66-74

В ряде областей техники форму сигналов связывают с объектом исследования, примером этого могут служить радиолокация, техническая и медицинская диагностика, телеметрия и др. Как правило, здесь имеют место нестационарные случайные сигналы

малой продолжительности во времени. В результате обработки таких сигналов, например, с помощью линейного цифрового фильтра, их форма, а, следовательно, диагностические признаки, содержащиеся в нем, могут быть сильно искажены. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка алгоритмов цифровой фильтрации сигналов, направленных на сохранение их первоначальной форме.

Целью данной работы является разработка алгоритма цифровой фильтрации сигналов на основе математического аппарата быстрого преобразования Фурье (БПФ). Для достижения поставленной цели в работе был проведен анализ существующих способов цифровой фильтрации сигналов и осуществлен синтез алгоритма цифровой фильтрации на основе математического аппарата БПФ. В результате полученных исследований было определено, что для увеличения быстродействия БПФ необходимо организовать таким образом, чтобы на каждой стадии данные для обработки можно было бы считывать из памяти последовательно. Для этого на предыдущей стадии результаты вычислений нужно хранить в необходимом порядке. Рассмотренный алгоритм был реализован на процессоре ARM Cortex-M3. Время выполнения преобразования Фурье для 128 точек, включая сохранение контекста, составил 1900 тактов (менее 15 тактов на точку), что на 20% быстрее лучшего из известных результатов (2400 тактов, менее 19 тактов на точку) для алгоритмов, выполняющих вычисления «на месте».

*Ключевые слова:* цифро-аналоговый преобразователь, цифровая обработка сигналов, быстрое преобразование Фурье, микроконтроллер ARM Cortex-M3.

Библ. 5, ил. 4 табл. 1

#### **УДК 004.042**

**Интероперабельность матрицы принятия решения для оценки рисков информационной безопасности** / Пасько В.П., Гасанов В.А., Гришко А.С., Максимюк А.В. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 2 (33).-С. 75-85

Объектом исследования является разработка технологии оценки рисков внедрения облачных технологий в управлении корпорацией. В статье сделан обзор базовых подходов, которые используются для построения технологии оценки. Им присущи определенные ограничения, которые определены разработанными международными стандартами.

Целью работы является экстраполяция имеющихся аналитических интерпретаций управления рисками облачных технологий, учитывая международные стандарты, и обеспечения интертекстуальности моделей повышения эффективности оценки рисков.

Для достижения цели предлагается анализ имеющихся международных стандартов, предварительных разработанных моделей и методик, которые используются корпорациями для оценки рисков, определение преимуществ и недостатков для принятия дальнейших решений на основе разработанных критериев, оптимизация и ускорение выбора оптимального способа минимизации информационного риска.

*Ключевые слова:* риск, оценка рисков, управление рисками, облачные технологии, принятия управленческих решений.

Библ. 26, ил. 5, табл 4

#### **УДК 621.398.96**

**Система адаптации к критическим условиям управления беспилотным летательным аппаратом** / В.А. Паюн. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 2 (33).-С.

В статье предлагается совершенствование управления полетом беспилотным летательным аппаратом с целью надежного и своевременного обеспечения доставки его в заданный район в условиях информационной неопределенности.

С этой целью в работе решаются задачи:

разработка методики идентификации входящей ситуации и выработки управляющих решений в системе управления полетом беспилотным летательным аппаратом с использованием аппарата нечеткой математики;

разработка алгоритмов управления полетом, которые должны обеспечить необходимую вероятность доставки беспилотного летательного аппарата в заданный район (цель) в условиях ограниченного объема информации о параметрах траектории на борту БПЛА;

применение и развитие методики синтеза алгоритмов управления полетом БПЛА, что позволяет реализовать разработанные алгоритмы на математической модели оценки работоспособности и эффективности синтезированной СУП БПЛА.

*Ключевые слова:* система управления полетом, пеленг объекта, адаптивные команды управления.

Библ. 1, ил. 13

### **УДК 621.865.8(031)**

**Повышение энергоэффективности роботов вертикального перемещения / Полищук М.Н. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 2 (33).-С. 97-105**

Рассматриваются методы повышения энергоэффективности технологических роботов вертикального перемещения, а именно способы уменьшения энергозатрат путем усовершенствования их системы автоматического управления за счет интеграции модулей удержания на поверхности перемещения и мониторинга ее топологии.

Предложено построение системы управления роботом вертикального перемещения на основе теории генетических алгоритмов.

*Ключевые слова:* мобильные работы, управление роботами вертикального перемещения, генетические алгоритмы

Библ. 3, ил. 2

### **УДК 621.396.4**

**Алгоритм временной кластеризации узлов беспроводных сенсорных сетей для сбора информации мониторинга с использованием беспилотных летательных аппаратов /Романюк А.В. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 2 (33).-С. 106-117**

Цель статьи: разработать алгоритм кластеризации и сбора информации мониторинга БпЛА непосредственно с узлов БСС, позволяющий сократить длину маршрута (и, соответственно, время сбора данных), уменьшить расход энергии батарей сенсорных узлов за счет различных правил сбора данных в полученных кластерах (и, соответственно, увеличить время функционирования сети), минимизировать число используемых БпЛА.

В статье предложен алгоритм кластеризации в БСС с помощью беспилотного летательного аппарата (БпЛА), выполняющего роль временного главного узла кластера. Данный алгоритм кластеризации основан на модифицированном алгоритме FOREL, позволяющий минимизировать количество точек съема информации (кластеров) в маршруте облета и оптимизировать зону радиосвязности БпЛА. Предложены правила уменьшения расхода энергии узлов при взаимодействии с БпЛА. Реализация алгоритма позволит уменьшить время сбора данных и увеличить время функционирования БСС.

*Ключевые слова:* беспроводные сенсорные сети, кластеризация, FOREL, сбор информации с БпЛА.

Библ.11, ил. 5.

### **УДК 681.5**

**Исследование издержек управления процессом производства электронных аппаратов** / Смолий В.Н. // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 2 (33).-С. 118-125

В результате проведенных исследований, на основании метода анализа иерархий, были собраны статистические данные по экспертным оценкам параметров, определены управленческие издержки от внедрения модифицированного технологического процесса. Проанализированы составляющие управленческих издержек, обусловленные необходимостью привлечения экспертов, задействования большого количества предприятий для сбора статистики и согласования выдаваемых системой рекомендаций с предполагаемым технологическим процессом производства. Определен функционал эффективности внедрения модификации в существующий процесс производства, исследована динамика рассматриваемого функционала для различных по назначению, условиям эксплуатации и конструктивному оформлению технологических объектов.

Библ. 5, ил. -, табл. 6

### **УДК 62-5**

**Алгоритмизация и планирование электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств** / И.Р.Пархомей, И. А. Фольборт // Межведомственный научно-технический сборник «Адаптивные системы автоматического управления». -2018.- № 2 (33).-С. 126-134

Объектом исследования является процесс определения электромагнитной обстановки для решения задач частотного планирования радиоэлектронных средств. На сегодняшний день в мире зарегистрировано более 127 000 передатчиков аналогового и более 2200 передатчиков цифрового телевидения, а также более 66 000 передатчиков аналогового звукового вещания. Количество абонентов сотовых сетей превышает 2 миллиарда. При такой радиоэлектронной обстановке значительно усложняется процесс поддержки уже существующих, и внедрение новых мультимедийных технологий передачи данных.

Целью работы является исследование эффективности использования и определение направлений совершенствования расчета электромагнитной обстановки радиоэлектронных средств (РЭС) в районе планирования. Для достижения цели проанализировано влияние основных типов помех, которые создают существенные преграды при передаче и фильтрации конечного радиосигнала. Рассмотрен общий алгоритм подбора частот для РЭС, и изложены причины возникновения взаимных помех при работе радиоэлектронных средств в осложненной радиоэлектронной обстановке.

*Ключевые слова:* источник радиоизлучения, электромагнитная обстановка, электромагнитная совместимость, пункт технического радиоконтроля, радиоизлучающее устройство, радиотехнологии, радиочастотного ресурса.

Библ. 26, ил. 2

### **UDC 004.891.2**

**Search for optimal neural network for intelligent assistant** / Bezpalko O.S., Polshakova O.M. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 2 (33).- P. 3-9

The object of the study is to determine the optimal neural network for building an intellectual assistant. The article gives an overview of the main types of neural networks that can be used to implement the project. Their comparison is carried out. Indication of the advantages and disadvantages of the above listed neural networks, when applied in this project.

In the process of study, the following neural networks are considered. The intermediary of direct distribution, namely, the perceptron of Rosenblatt, and, moreover, the more advanced neural network - the multilayer Rosenblatt recipe and the Vord neural network. Recurrent neural networks, the main feature of which is that after the first training signal transmitted in the opposite direction. The typical representative of this type of neural networks is the Hopfield network. Network of back propagation. Unlike reverse error networks, these networks are designed for initial rapid simulation. Deep Neural Networks. on the example of one of their representatives - the convolutional neural network.

*Key words:* intellectual assistant, direct propagation neural networks, back propagation, deep neural networks, recurrent neural networks.

Ref. 5, pic. 4

#### **UDC 004.421**

**The task of creating a transportation schedule under conditions of underspecified weight and volume indicators** / Grysha O.V. Lyubchenko G.A. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 2 (33).- P. 10-14

It is considered the task of scheduling transportation in the context of undetermined indicators of weight and volume of cargo.

This task of scheduling the shipment schedule is set so that the difference in the load on each of the drivers, the deviation of the actually transported from the ordered volume of traffic per shift and the cost of the entire volume of traffic are minimal, provided that the duration of the shift of drivers is not exceeded.

The specific conditions of the problem: the starting point, the destination of the cargo and the final destination are the same for all vehicles. All vehicles have the same capacity and cargo units are of the same type. One cargo unit can only be serviced by one vehicle. Since each flight ends with shipment to one destination, only this point can be repeated twice in the route of the round. Overloading of vehicles is unacceptable and the moment of full load is determined dynamically only during the transport service. The matrix of distances between cargo units satisfies the triangle inequality.

The proposed heuristic algorithm for solving the problem consists of the dynamic distribution of cargo units into clusters and the search for an approximate solution for finding a route in a cluster. A hybrid algorithm for search the route has next activities — viewing permutations using the local search method and applying an approximate algorithm for obtaining a set of routes for each permutation.

The presented method of solving a specific task like traveling salesman allows you to get an acceptable solution in a given period of time for passing an instance of the activity process allows you to take into account the preliminary results of drawing up routes and can be used in conditions of undetermined indicator of fullness of cargo units.

*Keywords:* logistics, route search algorithms, scheduling algorithms.

Title 3.

#### **UDC 681.31**

**Multidimensional barcodes** / Zhurakovsky B.Yu., Druzhinin V.A. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 2 (33).- P. 15-31

The relevance of the study is due to the following reasons: the dynamic development of information processing systems, a significant increase in the amount of information transmitted by information networks, an increase in the capabilities of bar codes for transmitting various information.

In many spheres of human life, there is often the task of collecting data from a large number of sources, processing them and providing a response corresponding to the recorded events. To carry out such activities is automated, it is necessary to ensure the exchange of information with a minimum time of its reading and processing. Widely used linear barcodes do not provide this feature. The amount of information encoded by this code is very limited. A large number of two-dimensional bar codes that have been developed, have a significant drawback in the amount of information transmitted and protection against distortion. And although almost all developed codes are used in various industries, the vast majority have a very narrow focus. This is either wood marking in logging, or laundry marking in laundry facilities, or labware marking, or using various credentials, or it contains a link to an Internet page. Some of the barcodes have a very small reading plane and are therefore used for marking various chips and other miniature devices.

The article presents the main differences between two-dimensional and three-dimensional bar codes, problems and features of modern two-dimensional, three-dimensional and four-dimensional codes. The main areas where two-dimensional barcodes are used today.

The classification of bar codes by type. The features of bar codes designed to optimize one or more criteria are considered. These criteria include: high information density or high resolution, optimal data location, ease of decryption.

High information density, or high resolution means that miniature barcode types can be printed and used in products where fixing space is limited, such as printed circuit boards.

The optimal location of the data, means that the possibility of reading errors is almost zero. This is very important for bar code applications in medicine.

Ease of decryption means that some types of barcodes use coding technology, which is widely supported by scanner manufacturers. Bar codes, for example, used in retail, have exactly the specific meaning of the data. They are structured to provide the convenience of a large number of users.

Some types of barcodes are designed to support a large number of character sets, while others only support digital data.

A series of codes in which data is encoded in the form of several lines of ordinary one-dimensional bar codes is called a multi-row code or stack symbols.

The name matrix code is used to denote two-dimensional codes based on the arrangement of black elements within the matrix. Each black element has the same size and element position encodes the data.

The paper compares three cyclic noise immunity codes: BCH, Reed-Solomon and Fayer. The obtained data made it possible to conclude that the lowest coefficient of redundancy is the Fayer code, since this code is shorter than the code of the BCH and the code of Reed-Solomon. Thus, the least redundancy of the message will be provided by the Fayer code. Due to the fact that in most cases the correction level is used from 30 to 60%, it is possible to use the Fayer code with less redundancy than the Reed-Solomon code. This will allow you to record a large amount of user information, almost at the same level of error correction, as with the use of the code of Reed-Solomon.

*Keywords:* Bar coding, two-dimensional, three-dimensional and four-dimensional bar codes, matrix bar codes, composite bar codes, bar code scanners, data layers, level of error correction.

Ref. 7, pic. 3., tabl. 3

UDC 681.51

**The algorithm for controlling the process of graphitizing carbon products** / Zhuchenko O.A. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 2 (33).- P. 32-41

The production of graphite products is complex, multi-stage and very energy-intensive. At the same time, the final stage - the graphing process - accounts for 80% of the total energy consumption, which is 8-10 MWh per 1 ton of products. Therefore, the task of increasing the efficiency of the graphite process in the production of carbon products is a relevant scientific and technical task, especially in today's conditions of constant increase in the cost of energy. The task of optimal control of the process of graphitizing carbon products is formulated as follows: by intensifying the process to achieve its minimum duration, provided that a given degree of graphitization of finished products is provided.

The purpose of the work is to develop a control algorithm that ensures the production of finished products of a given quality in the operation of the graphing process in the mode of resource and energy saving, taking into account possible unpredictable power outages.

*Keywords:* Carbon products, control, algorithm, graphitization, simulation modeling, Acheson furnace, scheme-algorithm.

Ref. 16, il. 2, tabl. 1

**UDK 621.3.011.74.005**

**Study of the electric magnetic processes in converter with ten zones regulation voltages and electric mechanical load** / Mykhailenko V.V., Zimenkov D.K., Svyatnenko B.A., Trubitsin K.V., Charnyak O.S. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 2 (33).- P. 42-47

Analysis of the electromagnetic processes is organized in article in electric circuit with semiconductor commutator. Mathematical model of converter is created with ten zones by regulation of the output voltage for analysis of the electromagnetic processes in semiconductor converter with width-pulse regulation. It is shown graphs that electromagnetic processes in electric circuit. The mathematical model of the semiconductor converter is also used for study of the connecting processes in semiconductor converter with actively-inductive load. Will develop the method multivariable function, what fall into algorithmic equations of the analysis formed and connecting processes in furcated electric circuit with semiconductor commutator and reactive element, toward account of the particularities of the use phase and linear voltages to network of the power supply. It is designed new mathematical model formed and connecting processes in electric circuit of the semiconductor converters inflexion type with many-server zoned use phase voltages to three-phase network of the power supply disregarding losses to electric powers in commutator for quick estimation of the influence parameter loads on features adjusted sine and constant voltages. The results of this work possible to use for development of the method multivariable modulating function for simplification of the analysis of the connecting processes in electric circuit without account of the losses in key element.

*Keywords:* semiconductor converter, ten zoned regulations of the voltage, electromagnetic processes, output voltage and current.

Ref. 4, pic. 3



#### **UDC 004.042**

**Algorithm for determination of electromagnetic compatibility for solution of frequency planning problems** / I. P. Parkhomey, V. V. Nedoluzhko // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 2 (33).- P. 48-55

The object of the study is the process of determining the electromagnetic environment for solving the frequency scheduling problems of electronic vehicles of the mobile service. Subject of research - research and calculation of EMC RES in the planning area. The purpose of the work is to investigate the effectiveness of using and defining directions for improving the calculation of EMC REFs in the planning area.

The method involves conducting an EMC analysis of the RES in the planning area, and in case of using the general site for the RES-EMC of the local REF grouping (object EMC).

The paper presents the reasons for the occurrence of interference in the work of radio electronic devices in a complicated electronic environment, examines the modern scientific and methodical apparatus of radio monitoring with the definition in this place of the electromagnetic environment for the solution of frequency scheduling of RES.

The paper analyzes the causes of mutual interference in the work of radio electronic devices in a complicated electronic environment, examines the modern scientific and methodical apparatus of radio monitoring with the definition of electromagnetic environment in it for solving the problems of frequency planning of mobile service reflexes.

*Key words:* radio emission source, electromagnetic environment, electromagnetic compatibility, point of technical radio control, radio-transmitting device, radio regulation, radio technology, radio frequency resource

Ref. 5, pic. 2

#### **UDK 004.021**

**The algorithm of the refined positioning in navigation systems of augmented reality** / Oliinyk V.V., Yaremenko Y.A. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control». 2018. № 2 (33) P. 56-65

The object of the study is personal mobile navigation system using augmented reality technology. For its full-fledged work, it is necessary to perform high-precision positioning and orientation of the device on the surface. This article considers the main features of an augmented reality navigators and basic approaches for producing high-precision positioning. As a result of our studies, we have developed the method of more precious determination of the object position. This method is based on using standard GPS-module inputs together with the values of local device offsets coming from gyroscope and accelerometer. The accuracy of local offsets values calculated by these modules increases due to the adjustment performed upon recognizing real surfaces and their movements. This becomes possible by applying the augmented reality technology that process data received from the video camera on the user's device.

*Keywords:* navigation system, positioning and orientation methods, augmented reality.

Ref. 12, pic. 4

#### **UDC 004.652**

**Development of an algorithm for digital filtering of input information of robotic systems** / Parkhomey I. Tsopa N. // Interdepartmental scientific technical journal «Adaptive systems of automatic control». 2018. № 2 (33) P. 66-74

In many fields of technology, the form of signals associated with the object of research, an example of this can be radar, technical and medical diagnostics, telemetry, etc. As a rule,

there are non-stationary random signals of short duration in time. As a result of the processing of such signals, for example, using a linear digital filter, their shape, and, consequently, the diagnostic features contained therein, can be severely distorted. In this regard, the development of algorithms for digital filtering of signals aimed at preserving their original form is of particular relevance.

The aim is to develop an algorithm for digital signal filtering based on the mathematical apparatus of fast Fourier transformation (FFT). To achieve this goal, the analysis of existing methods of digital signal filtering was carried out and the synthesis of the digital filtering algorithm based on the mathematical apparatus of the FFT was carried out. As a result of these studies, it was determined that in order to increase the speed of the FFT, it is necessary to organize in such a way that at each stage the data for processing can be read from memory sequentially. To do this, at the previous stage, the results of calculations should be stored in the required order. The considered algorithm was implemented on ARM Cortex-M3 processor. The Fourier transform execution time for 128 points, including context preservation, was 1900 cycles (less than 15 cycles per point), which is 20% faster than the best known result (2400 cycles, less than 19 cycles per point) for algorithms performing in-place calculations.

*Keywords:* digital-to-analog converter, digital signal processing, fast Fourier transformation, ARM Cortex-M3 microcontroller.

Ref. 5, pic. 4, tabl. 1

#### **UDC 004.042**

**Interoperability matrix decision making to assess the risks of information security /** Pasko V.P., Gasanov V.A., Hryshko A.S., Maksymyuk A.V. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 2 (33).- P. 75-85

The object of the research is to develop a technology for risk assessment of the introduction of cloud technologies in the management of the corporation. The article gives an overview of the basic approaches that are used to build evaluation technology. They have certain limitations that are defined by developed international standards.

The aim of the work is to extrapolate existing analytical interpretations of cloud-based risk management, taking into account international standards, and to ensure intertextuality of the.

To achieve the goal, an analysis of existing international standards, previous developed models and techniques used by corporations to assess risks, identify advantages and disadvantages for making further decisions based on developed criteria, optimization and acceleration of the choice of the optimal method for minimizing information risk is proposed.

*Keywords:* risk, risk assessment, risk management, cloud technologies, management decision making

Ref. 26, pic. 5, tabl. 4

#### **UDC 621.398.96**

**The system of adaptation to the supercritical conditions for the control of an unmanned aerial vehicle /** V.A. Paiun. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».-. - 2018. No. (). P. 86-96

The article proposes perfection of flight control by an unmanned aerial vehicle with the purpose of reliable and timely provision of its delivery to a given region under conditions of information uncertainty.

For this purpose, the following tasks are solved in the work:

development of a technique for identifying the incoming situation and developing control decisions in the flight control system of an unmanned aerial vehicle using a fuzzy mathematics apparatus; development of flight control algorithms that should provide the necessary

probability of delivering an unmanned aerial vehicle to a given area (target) in conditions of a limited amount of information about the parameters of the trajectory on board the UAV; application and development of the methodology for the synthesis of UAV flight control algorithms, which allows the developed algorithms to be implemented on a mathematical model for assessing the operability and efficiency of a synthesized flight control system of an unmanned aerial vehicle.

*Keywords:* flight control system, object bearing, adaptive control commands.

#### **UDC 621.865.8(031)**

**Increasing the energy efficiency of robots vertical movement** / Polyshchuk M.N. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 2 (33).- P. 97-105

The methods of increasing energy efficiency of technological robots vertical movement, namely ways to reduce energy consumption by improving their automated control systems by integrating the retention module on the surface movement and monitoring of its topology.

It is proposed to build a robot control system of vertical displacement on the basis of the theory of genetic algorithms.

*Keywords:* mobile work management robots vertical displacement, genetic algorithms  
Ref. 3, pic. 2

#### **UDC 621.396.4**

**The algorithm for temporal clustering of wireless sensors network nodes to collect monitoring information using unmanned aerial vehicles** / Romaniuk A.V. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 2 (33).- P. 106-117

The purpose of the article is to develop an algorithm for clustering and collecting monitoring information for UAV directly from the WSN nodes, which allows to shorten the route length (and, accordingly, the data acquisition time), to reduce the energy consumption of sensory node batteries due to different data collection rules in the clusters obtained (and, increase the network operation time), minimize the number of used UAV.

An algorithm for clustering in wireless sensors networks (WSN) is proposed with the help of an unmanned aerial vehicle (UAV), which acts as a temporary head cluster node. This clustering algorithm is based on the modified FOREL algorithm, which allows to minimize the information gathering points in the fly route and optimize the coverage region of the UAV. The rules for decreasing the energy consumption of nodes in interaction with UAV are proposed. The implementation of the algorithm will reduce the time of data collection and increase the time of functioning of the WSN.

*Keywords:* wireless sensor networks, clustering, FOREL, information collection with UAV.  
Ref. 11, pic. 5.

#### **UDC 681.5**

**Research of management expenses by the process of production of electronic vehicles** / Smolij V.N. // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 2 (33).- P. 118-125

As a result of the conducted researches, on the basis of method of analysis of hierarchies, statistical information was collected by expert estimations of parameters, administrative costs are certain from introduction of the modified technological process. The constituents of administrative costs, bringing in of experts conditioned by a necessity, and involvements of

plenty of enterprises, are analyzed for collection of statistics and concordance of the recommendations produced by the system with the supposed technological process of production. The functional of efficiency of introduction of modification is certain in the existent process of production, the dynamics of examined functional is explored for different on purpose, to the external environments and structural registration of technological objects.

Ref. 5, tabl. 6.

#### **UDC 62-5**

**Algorithmization and planning of electromagnetic compatibility of radioelectronic facilities** / I. Parkhomei, I. Folbort // Interdepartmental scientific-technical journal «Adaptive systems of automatic control».- 2018.- № 2 (33).- P. 126-134

The object of the study is the process of determining the electromagnetic environment for solving the problems of frequency planning of radioelectronic facilities. These days, more than 127,000 analog transmitters and more than 2,200 digital broadcast transmitters have been registered in the world, as well as more than 66,000 analogue broadcast transmitters. The number of subscribers of the cell networks exceeds 2 billion. With such a radio-electronic environment, the process of supporting already existing ones and the introduction of new multimedia technologies for data transmission are becoming much more complicated.

The aim of the work is to study the efficiency of use and determine the directions for improving the calculation of the electromagnetic environment of radio electronic equipment in the planning area. To achieve the goal, the influence of the main types of interference, which create significant barriers in the transmission and filtering of the final radio signal, is analyzed. The general algorithm of frequency selection for RES is considered, and the causes of mutual interference in the operation of radioelectronic facilities in a complicated electronic environment are described.

*Key words:* source of radio emission, electromagnetic environment, electromagnetic compatibility, point of technical radio control, radio-emitting device, radio technology, radio frequency resource.

Ref. 26, pic. 2

## ПРО АВТОРІВ

**Безпалько Олександр Сергійович** — студент КПІ ім. І.Сікорського.

Наукові інтереси: дослідження нейронних мереж.

**Гриша Олена Василівна** – к.т.н., доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління КПІ ім. Ігоря Сікорського

Наукові інтереси: управління проектами, системний аналіз, представлення знань, підтримка прийняття рішень.

**Гасанов Вадим Анверович** – студент кафедри технічної кібернетики ФІОТ КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Наукові інтереси: хмарні технології, забезпечення інформаційної безпеки.

**Гришко Альона Сергіївна** – аспірант кафедри теорії та практики управління ФСП КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Наукові інтереси: розробка бізнес-моделей управління ресурсами компаній, project-management, забезпечення інформаційної безпеки.

**Дружинін Володимир Анатолійович** – докт. техн. наук, професор кафедри радіоприймання та оброблення сигналів, КПІ ім. Ігоря Сікорського.

**Жураковський Богдан Юрійович** - докт. техн. наук, професор кафедри технічної кібернетики НТУУ «КПІ».

**Жученко Олексій Анатолійович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматизації хімічних виробництв КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Наукові інтереси: оптимальне керування та моделювання складних динамічних систем.

**Зіменков Дмитро Константинович** – старший викладач кафедри теоретичної електротехніки Національного технічного університету України КПІ ім. Ігоря Сікорського.

**Любченко Гліб Олександрович** - студент 5-го курсу кафедри автоматизованих систем обробки інформації та управління КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Наукові інтереси: архітектура програмного забезпечення продуктів фінансового сектору, Розробка мікросервісних та розподілених додатків, підтримка кластерних рішень.

**Максимюк Альона Василівна** – начальник відділу КБ ІС КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Наукові інтереси: забезпечення інформаційної безпеки, ризик-менеджмент, моделювання ризиків в проектах програмного забезпечення, адміністративний менеджмент.

**Михайленко Владислав Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної електротехніки Національного технічного університету України КПІ ім. Ігоря Сікорського .

**Недолужко Владислав Валентинович** – студент V курсу факультету інформатики та обчислювальної техніки, кафедра Технічної кібернетики КПІ ім. Сікорського.

Наукові інтереси: системи адаптивного управління, цифрові системи управління, радіоавтоматика.

**Олійник Володимир Валентинович** – к. т. н., доцент кафедри технічної кібернетики, КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Наукові інтереси: системи штучного інтелекту, нейротехнології та глибоке навчання.

**Пархомей Ігор Ростиславович** - д.т.н., професор, завідувач кафедри Технічної кібернетики КПІ ім. Сікорського.

Наукові інтереси: системи адаптивного управління, цифрові системи управління, радіоавтоматика.

**Паюн Віталій Анатолійович** – асистент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Наукові інтереси: інформаційні технології, оптимізація систем.

**Пасько Віктор Петрович** – к.т.н., доцент кафедри технічної кібернетики КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Наукові інтереси: ідентифікація та управління складними динамічними системами.

**Пошалькова Ольга Михайлівна** — ст. викладач кафедри технічної кібернетики КПІ ім. І.Сікорського.

Наукові інтереси: наукові дослідження.

**Романюк А.В.** – аспірант, КПІ ім. Ігоря Сікорського, оптимізація складними телекомунікаційними системами.

**Святненко Вадим Анатолійович** – старший викладач кафедри теоретичної електротехніки Національного технічного університету України КПІ ім. Ігоря Сікорського.

**Смолій Вікторія Миколаївна** – д.т.н., професор, завідувач кафедри електронних апаратів Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля.

Наукові інтереси: автоматизовані системи управління; експертні системи.

**Трубіцин Константин Вікторович** – старший викладач кафедри теоретичної електротехніки Національного технічного університету України КПІ ім. Ігоря Сікорського, наукові інтереси: теоретична електротехніка та електроніка.

**Фольборт Іоганнес-Георг Андрійович** – студент 5 курсу ФІОТ КПІ ім. Ігоря Сікорського

**Цюпа Наталія Володимирівна** – к.т.н., старший викладач кафедри Технічної кібернетики КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Наукові інтереси: системи автоматичного керування, цифрова обробка сигналів.

**Чарняк Ольга Сергіївна** – студентка групи ЕК-41, кафедра автоматизації енергосистем КПІ ім. Ігоря Сікорського.

**Яременко Євгеній Анатолійович** – бакалавр, студент кафедри технічної кібернетики КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Наукові інтереси: системи доповненої та віртуальної реальності.