

Міністерство освіти і науки України  
Херсонський національний технічний університет  
Факультет інженерії та транспорту  
Кафедра автоматизації, робототехніки і мехатроніки

## **Комп'ютерно-інтегровані технології у сьогоденні**

# **З**

***Збірка наукових праць молодих вчених  
(студентів, магістрів і аспірантів)***

Херсон – 2019 р.

Комп'ютерно-інтегровані технології у сьогоденні. Збірка наукових праць молодих вчених (студентів, магістрів і аспірантів) / Під редакцією Г.В. Рудакової та ін. – Херсон: ХНТУ, 2019. – 68 с.

**ISBN 978-617-7273-28-7**

Збірка наукових праць молодих вчених (студентів, магістрів і аспірантів) містить результати наукових досліджень за напрямками: інформаційні системи та технології; математичне моделювання фізичних, технологічних процесів і технічних систем; автоматизоване управління технологічними процесами; комп'ютерне моделювання ймовірнісних процесів і систем; комп'ютерні технології; мережні і телекомунікаційні технології; системи захисту інформації.

Роботи друкуються в авторській редакції, в збірці максимально зменшено втручання в обсяг та структуру відібраних до друку матеріалів.

#### **АДРЕСА**

73008, Україна, м.Херсон, Бериславське шосе, 24,  
ХНТУ, 3 корп., кафедра «Автоматизації, робототехніки і мехатроніки»,  
тел. (0552) 32-69-37, 32-69-57

**ISBN 978-617-7273-28-7**

© Херсонський національний технічний університет

## ЗМІСТ

	Стор.
<b>Байрак І.В., Рудакова Г.В.</b>	
Завдання контролю станів іригаційного обладнання .....	4
<b>Григорович В.В., Очеретяний О.К., Баклан І.В.</b>	
Виявлення аномалій ритмів ЕКГ з використанням спеціалізованих баз знань .....	8
<b>Дмитрюк О.В., Баклан Я.І., Баклан І.В.</b>	
Аналіз даних з використанням байєсово-лінгвістичних мереж .....	12
<b>Зюба І.В., Поливода О.В.</b>	
Вдосконалення автоматизованої системи управління технологічним процесом гранулювання висівок .....	15
<b>Каджая В.М., Баклан І.В.</b>	
Огляд мови програмування KUJIRA .....	19
<b>Карпенко С.Л., Рудакова Г.В.</b>	
Автоматизація процесу керування насосним обладнанням іригаційних систем .....	23
<b>Кондратьєва І.Ю., Рудакова Г.В.</b>	
Аналіз акустичних сигналів у системах функціональної діагностики електро- механічного обладнання .....	29
<b>Логвинчук А.І., Баклан І.В.</b>	
Аналіз часових рядів за допомогою лінгвістичного моделювання .....	35
<b>Младзієвський А.В., Поливода О.В.</b>	
Автоматизація процесу управління сортуванням штучних продуктів на конвеєрі .....	40
<b>Шестаков В.С., Поливода О.В.</b>	
Автоматизована система моніторингу стану вантажів на суховантажних суднах .....	45
<b>Лебеденко Ю.О., Тоуфак Е.Р., Ревенко С.В.</b>	
Підходи і моделювання узгодженого руху багатопривідних систем .....	50
<b>Мосур І.В., Голубєв Л.П.</b>	
Моделювання систем живлення мікроконтролерів зі зменшеним енергоспоживанням .....	57

**ЗАВДАННЯ КОНТРОЛЮ СТАНІВ ІРИГАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ**

*У даній статті запропоновано структуру системи ідентифікації станів іригаційного обладнання, визначені параметри, що підлягають моніторингу та управлінню, виділені основні режими роботи дощувальної машини.*

*Ключові слова: GPS, МОНІТОРИНГ, ДИСТАНЦІЙНЕ УПРАВЛІННЯ, ДОЩУВАЛЬНА МАШИНА, ІРИГАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ.*

**Вступ.** На сьогодні в сільському господарстві України використовується застаріле обладнання, що потребує модернізації. Подібне устаткування має простір для автоматизації окремих частин управління та створення дистанційних систем на їх основі. Для автоматизації іригаційного обладнання можна виділити декілька задач, однією із яких є ідентифікація станів. При розгляді іригаційного обладнання як об'єкта управління слід визначити параметри, що підлягають моніторингу, параметри, що регулюються, виділити основні режими роботи і допустимі межі значень окремих показників.

У публікаціях за даною темою розглядаються перспективи технічної модернізації іригаційних систем з використанням статистичних даних та різні задачі для модернізації і підвищення ефективності роботи машин різного типу [1]. Крім того однією з проблем ідентифікації станів іригаційного обладнання є встановлення взаємозв'язків між параметрами. При пересуванні дощувальної машини (ДМУ) необхідно встановлювати залежність різних показників від переміщення машини [2]. Пересування машини також впливає на ґрунт у місцях проходження коліс, що в свою чергу може надати певні наслідки після багаторазового проходження по одній й тій самій траєкторії.

Ціллю досліджень є розробка засобів та методів ідентифікації станів іригаційного обладнання та аналіз проблем, що виникають при ідентифікації.

**Основна частина.** Проблеми управління іригаційним обладнанням обумовлені низкою факторів:

- функціонування обладнання здійснюється при впливі збурень випадкового характеру;
- системи моніторингу параметрів функціонування надають великі обсяги інформації про стан об'єктів в реальному часі;
- необхідність своєчасного виявлення критичних режимів роботи обладнання.

Обробка великих обсягів інформації в реальному часі вимагає задіяння великої кількості людських ресурсів. Автоматизація даного аспекту систем управління можлива за рахунок використання інтелектуальних систем, що дозволить значно знизити час, необхідний для обробки інформації і підвищити швидкість виявлення критичних режимів роботи. Розглядувана дощувальна машина типу «Фрегат» (рис. 1) має круговий характер переміщення і представляє собою трубопровід з середньоструйними дощувальними апаратами, що розташовані на опорах візках і обертаються навколо нерухомої осі гідранта. Опори машини підтримують трубопровід у вертикальній і горизонтальній площинах за допомогою системи розтяжок. Двоколісні візки опор мають гідропривід, основу якого складають циліндр і поршень зі штоком. Вода з трубопроводу машини подається по черзі в різні половини циліндра і поршень здійснює коливальні рухи, які перетворюються в руху штовхача колеса [3, 4].



відображає положення датчика на кінці трубопроводу при переміщенні машини по заданій траєкторії.

Впровадження подібної системи дозволить аналізувати отримані результати, прогнозувати подальше переміщення трубопроводу, визначати критичні відхилення а також ігнорувати показання датчиків, які можуть не відповідати дійсності, а саме: завдяки тому, що траєкторія руху машини має круговий характер, то показники датчиків не можуть виходити за радіус, що визначається довжиною трубопроводу. Крім того, з переміщенням візків пов'язані і інші регульовані параметри, які також можна передавати за допомогою технології GPS. Швидкість обертання всієї машини задається краном на гідроприводі периферійного візку, збереження прямолінійності трубопроводу контролюється системою синхронізації руху, що автоматично регулює швидкості всіх проміжних візків. Зупинка "Фрегат" відбувається шляхом припинення подачі води в трубопровід, при цьому вода автоматично виливається через зливні клапани, що встановлені під кожним дощувальним апаратом [5].

При відстеженні переміщення машини можна визначити й швидкість її переміщення, яка безпосередньо пов'язана з подачею води в гідропривід, тому можна визначити і технологічні параметри, що пов'язані з цим процесом. До таких параметрів належать тиск в трубопроводі і витрата води на рух візків та полив. З огляду на те, що поливні норми встановлюються виходячи з інших параметрів, а тиск в трубопроводі безпосередньо пов'язаний зі швидкістю переміщення візків, то при обробці цих параметрів можна заздалегідь визначити місце розташування машини в будь-який момент часу і порівняти його з показниками датчиків. Подібні дії допоможуть виявляти будь-які відхилення від заданої норми і заздалегідь прогнозувати ситуації, що можуть привести до виходу з нормального режиму роботи [6].

Для даного об'єкту можна виділити 3 основні режими роботи: режим нормального переміщення без відхилень, критичний режим роботи при якому відбувається зміщення трубопроводу, і фатальний режим роботи, який характеризується значним відхиленням, що призводить до аварійної ситуації або повної зупинки машини (рис. 3).

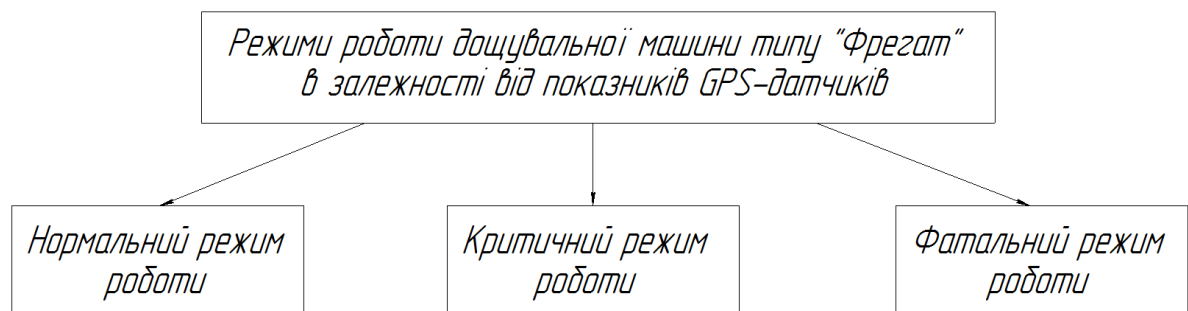


Рис. 3 – Режими роботи ДМУ «Фрегат»

У першому випадку прогнозовані параметри повинні співпадати з одержуваними сигналами датчиків в межах встановленої похибки. У другому випадку будь-яка з ділянок трубопроводу значно відхиляється від прогнозованої траєкторії. У конструкції машини передбачені подібні ситуації, наприклад, якщо будь-яка з візків починає пробуксовувати і відставати від інших, то сусідні тягнуть трубопровід вперед і зміщують його щодо відстає опори. Взаємне зміщення трубопроводу і опори перетворюється системою важелів в переміщення клапана, що збільшує подачу води в циліндр, частота рухів штовхача збільшується і відстає візок починає рухатися швидше, однак, в разі коли система не спрацьовує це може призвести до фатального режиму роботи. Так само цей режим може бути викликаний відсутністю будь-якого з елементів машини, в слідстві механічного пошкодження або крадіжки.

З технологічних параметрів можна виділити характеристики дощу, контрольовані за допомогою спеціальних насадок дощувальних апаратів, що розбризкують воду. До таких параметрів належать інтенсивність дощу (приріст шару опадів в одиницю часу), крупність (діаметр) крапель, рівномірність розподілу дощу по площі. Характеристики дощу обумовлюються нормами поливу і погодними умовами. Залежно від метеорологічних даних норми поливу можуть значно варіюватися.

Виходячи з цього важливу роль в ідентифікації відіграють погодні умови, наприклад, при природних опадах поливні норми зменшуються, а при посухи збільшуються, що в свою чергу змінює швидкість руху машини і безпосередньо тиск в трубопроводі. Головним завданням створення системи управління та моніторингу для подібних машин буде дослідження і установка взаємозв'язків між контрольованими параметрами, оперативна обробка даних, що надходять і прогнозування подальшого розвитку подій. Прогнозування параметрів грає важливу роль в ідентифікації станів об'єкта і дозволяє запобігати переходам у критичні режими роботи, заздалегідь визначаючи ситуації, що можуть призвести до граничних значень показників.

Основними завданнями, які вирішуються впровадженням GPS-датчиків, є:

1. Визначення витрат води на полив і переміщення трубопроводу.
2. Визначення режимів роботи машини.
3. Прогнозування показників розташування різних сегментів трубопроводу в певний момент часу.
4. Виявлення ситуацій, що ведуть за собою перехід в критичний або близький до нього режими роботи.
5. Контроль параметрів побічно пов'язаних з переміщенням об'єкта управління.

**Висновки.** Ідентифікація більшої кількості регульованих параметрів системи можлива за рахунок використання GPS-датчиків, що значно спрощує задачу ідентифікації станів через непрямий зв'язок різних показників з переміщенням машини і дає можливість створити на її базі систему дистанційного управління та моніторингу. При обробці даних з датчиків доцільним є використання інтелектуальних систем для обробки великої кількості інформації у реальному часі та прогнозування подальших показників.

#### **ЛІТЕРАТУРА:**

1. Ольгаренко Г. Перспективы технической модернизации оросительных систем / Г. Ольгаренко. // Агробизнес: экономика - оборудование - технологии. – 2011. – №3. – С. 61–64.
2. Соловьев Д. А. Влияние режима движения дождевальных машин на норму полива / Д. А. Соловьев, Л. А. Журавлева. // Вестник АПК Верхневолжья. – 2018. – №1. – С. 38–43.
3. Слюсаренко В. В. МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР / В. В. Слюсаренко, А. В. Хизов, А. В. Русинов. – Саратов, 2011. – 161 с. – (ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ»).
4. Кузнецова Е. И. ОРОШАЕМОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ / Е. И. Кузнецова, Е. Н. Закабунина, Ю. Ф. Снопич. – Москва, 2012. – 117 с. – (ФГБОУ ВПО РГАЗУ).
5. КРИУЛИН К. Н. Орошение дождеванием Учебное пособие / К. Н. КРИУЛИН, М. Ю. ПАТРИНА, Ю. Б. ПОЛИТАЕВ. – Санкт-Петербург, 2003.
6. Акулов П.В. Решение задач прогнозирования с помощью нейронных сетей / Акулов Павел Владимирович [Електронний ресурс] – Режим доступу: [www.dgtu.donetsk.ua](http://www.dgtu.donetsk.ua).

## ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ РИТМІВ ЕКГ З ВИКОРИСТАННЯМ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ БАЗ ЗНАНЬ

*На сьогоднішній день виявлення аномалій є однією із головних причин виконання аналізу даних. Можливість виявляти рідкісні та нетипові показники та події широко застосовується у найрізноманітніших сферах людської діяльності: інженерно-технічній, фінансово-економічній, медичній та інших. Із подальшим розвитком інтернету речей, потреба у автоматизованих системах моніторингу та прийняття рішень, здатних вчасно розпізнати збої або помилки в роботі різного роду пристроїв та інфраструктури, та не допустити небажаних наслідків, буде тільки зростати. Саме тому надзвичайно важливою сьогодні є розробка ефективних алгоритмів виявлення аномалій.*

*Ключові слова: ЕКГ, RR-ІНТЕРВАЛИ, АНОМАЛІЯ, СКАТЕРОГРАМА, КЛАСТЕРИЗАЦІЯ*

**Вступ.** Дуже великою за масштабами проблемою, з приводу питання людського здоров'я, є невчасне визначення порушень, тобто виявлення їх не на початкових періодах, при яких достатньо всього лиш звернутися до лікаря та використати набагато простіший вид лікування хвороби аби уникнути проблеми зі станом здоров'ям, а в той період коли захворювання вже почало впливати на весь організм та на всю систему людських органів.

Актуальність задачі зумовлена потребою виявлення серцево-судинних захворювань у їх початковий період, щоб забезпечити просте, швидке та набагато діюче лікування пацієнта, а також забезпечити своєчасний контроль хронічних хвороб, що у свою чергу має покращити ступінь охорони здоров'я та зменшити витрати на непотрібні заходи для нього.

**Основна частина.** Метою дисертаційної роботи є покращення якості постановки діагнозів пацієнтам з серцево-судинними захворюваннями за рахунок розробки он-лайн системи інтелектуального аналізу ритмів електрокардіограм для виявлення аномалій у роботі серцево-судинної системи.

В цьому дослідженні були виконані наступні кроки:

- аналізу існуючих підходів та методів кластеризації ритмів ЕКГ;
- вибір оптимального алгоритму кластеризації даних у вигляді часових рядів;
- проектування власної системи виявлення аномалій у ритмах ЕКГ;
- проведення аналізу методів та підходів згортання даних;
- розробка власного програмного забезпечення аналізу ритмів ЕКГ та спеціалізованої бази даних до неї;
- експерименти на основі реальних даних ритмів ЕКГ.

В існуючих на даний момент умовах динамічної обробки інформації та у зв'язку з потребою аналізу часових рядів в інтелектуальному аналізі потоків даних, необхідно розібрати стан проблеми кластеризації часових рядів та наявні підходи до вирішення такого роду задач. Пропонується аналіз існуючих публікацій з використанням стандартних метрик кластеризації часових рядів, їх обробки за умов недостатньої кількості даних у ряді, аномалій, а також при неможливості конструювання моделей або при використанні методик на базі статистики. Ставляться науково-практичні задачі дослідження в межах інтелектуального аналізу даних.



Потрібно проаналізувати стан питання нечіткої кластеризації часових рядів та існуючі методи вирішення. Дослідити різноманітні метрики, які використовуються у методах нечіткої кластеризації часових рядів, на основі підручних методів та метрик.

Мета – є розробка он-лайн системи інтелектуального аналізу ритмів електрокардіограм для виявлення аномалій у роботі серцево-судинної системи та покращення якості постановки діагнозів пацієнтам з серцево-судинними захворюваннями за рахунок впровадження системи у клініки.

Завдання:

- а) аналіз існуючих підходів та методів кластеризації ритмів ЕКГ;
- б) обрання оптимального алгоритму кластеризації даних у вигляді часових рядів;
- в) проектування власної системи виявлення аномалій у ритмах ЕКГ;
- г) проведення аналізу методів та підходів згортання даних;
- д) розробка власного програмного забезпечення аналізу ритмів ЕКГ та спеціалізованої бази даних до неї;
- е) проведення експериментів на основі тестових та реальних даних.

Задача інтелектуального аналізу аномалій ритмів електрокардіограм формулюється таким чином: після проведеного виміру електрокардіограми з неї виділяються дані варіабельності серцевого ритму, а саме RR-інтервали ударів серця. На основі цих даних будуються теплові карти або так звані скатерограми які далі піддаються аналізу методом кластеризації. Проаналізовані дані формуються в кластерну карту зон ризику захворювання у просторі перших двох головних компонент. Основним завданням виявлення аномалій у роботі серця пацієнта та їх аналіз для диференціації стану здоров'я пацієнта.

Диференціація планувалася виконуватися за допомогою нейронної мережі за рахунок кластеризації (навчання без вчителя). Процес дослідження має такі етапи:

- з набору записів електричної активності серця виділяються дані по серцевим ритмам, як показником, найбільш відображаючим загальний стан здоров'я;
- будуються набори скатерограмм в логнормальній шкалі для ефективної візуалізації режимів роботи серця;
- методики головних компонент виділяються головні компоненти для подальшої кластеризації;
- групування даних у кластери методикою k-means.

На сьогоднішній день тенденція в обробці великих обсягів інформації та їх аналізу за допомогою кластеризації надає спромогу збагнути різноманіття процесів для її наступного вживання у різних сферах життєдіяльності, що супроводжають людину. Розглянуті в проаналізованій літературі задачі не поєднують в собі одночасно вирішення всіх задач.

На основі отриманих даних лікар матиме змогу зробити передбачення щодо ризику захворювання. Застосування системи при лікуванні серцево-судинних хвороб та при їх профілактиці може призвести до позитивних результатів у вигляді зменшення кількості несвоєчасно виявлених порушень у роботі серцево-судинної системи.

Загальну задачу прийняття рішень чи як її називають завданням вибору, можна сформулювати наступним чином .

Нехай в даному випадку  $X$  – безліч альтернатив (рішень),  $Y$  – маса можливих результатів (наслідків). Очікуватиметься існування причинного зв'язку між вибиранням деякої альтернативи і настанням відповідного результату. Крім цього, передбачається наявність механізму оцінки доброякісності вибору – звичайно ж шляхом оцінки якості результату. Необхідно обрати найліпшу альтернативу, для якої належний результат має якнайкращу оцінку якості.

Опираючись на зв'язки між рішеннями і наслідками прийнята подальша класифікація задач прийняття рішень.

### Детермінована задача прийняття рішень

Їй відповідає якнайбільш простий вид взаємозв'язку – детермінований, коли кожна альтернатива приводить до певного але єдиного результату. У такому випадку існує функціональна залежність між альтернативою  $X_i$  і наслідком  $Y_i$ .

У разі, коли кожній альтернативі відповідає не лише один єдиний результат, тобто значиться недетермінований тип зв'язку, то задачі прийняття рішень розщеплюються на два підкласи:

- а) задача прийняття рішень в умовах ризику;
- б) задача прийняття рішень в умовах стохастичної або імовірнісної, невизначеності.

У першому випадку (а), на переміну від випадку (б), для кожної альтернативи  $x_i$  відвічає функція щільності ймовірностей на множині результатів  $Y$ .

На рисунку 2.1 кожна стрілка охарактеризовується вагою, тобто числом  $P_{ij}$  – ймовірністю випадання результату  $y_j$  при виборі альтернативи  $x_i$ .

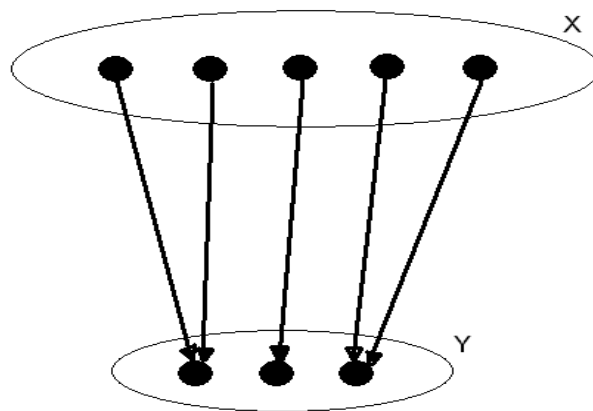


Рис. 1 – Детермінований тип зв'язку

В умовах невизначеності недетермінованого зв'язку альтернатива-результат виникають два типи завдань:

- задачі прийняття рішень в таких умовах пасивної взаємодії ОПР та зовнішнього середовища, тобто зовнішній осередок веде себе інертно;
- задачі прийняття рішень в умовах конфлікту або гри, у якій зовнішнє середовище поводить себе активно щодо ОПР, що проявляється певними діями іншої людини.

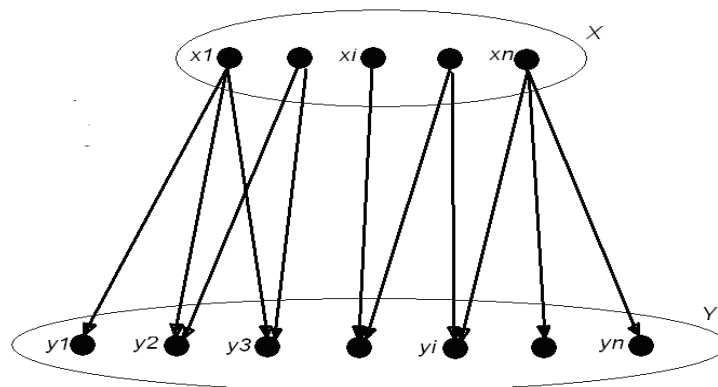


Рис. 2 – Частота розміщень кожного символу на відповідній позиції у послідовності

На рисунку 3 інцидент 1 відповідає прийому рішення в умовах визначеності: точками  $y_1, y_2, y_3$  позначені результати, які відповідають вибору альтернатив  $x_1, x_2, x_3$

(три альтернативи і три певних результати). Випадок 2 охарактеризовує задачу прийняття рішення в умовах невизначеності: після обрання будь-якої з альтернатив  $x_1$ ,  $x_2$  або  $x_3$  може бути показаний лише інтервал розташування відповідного результату  $y_i$ . Випадок 3 відтворює ситуацію відбору в умовах ризику. Показані графіки відповідних щільностей ймовірностей подій в залежності від обрання альтернативи  $x_1$ ,  $x_2$  або  $x_3$ .

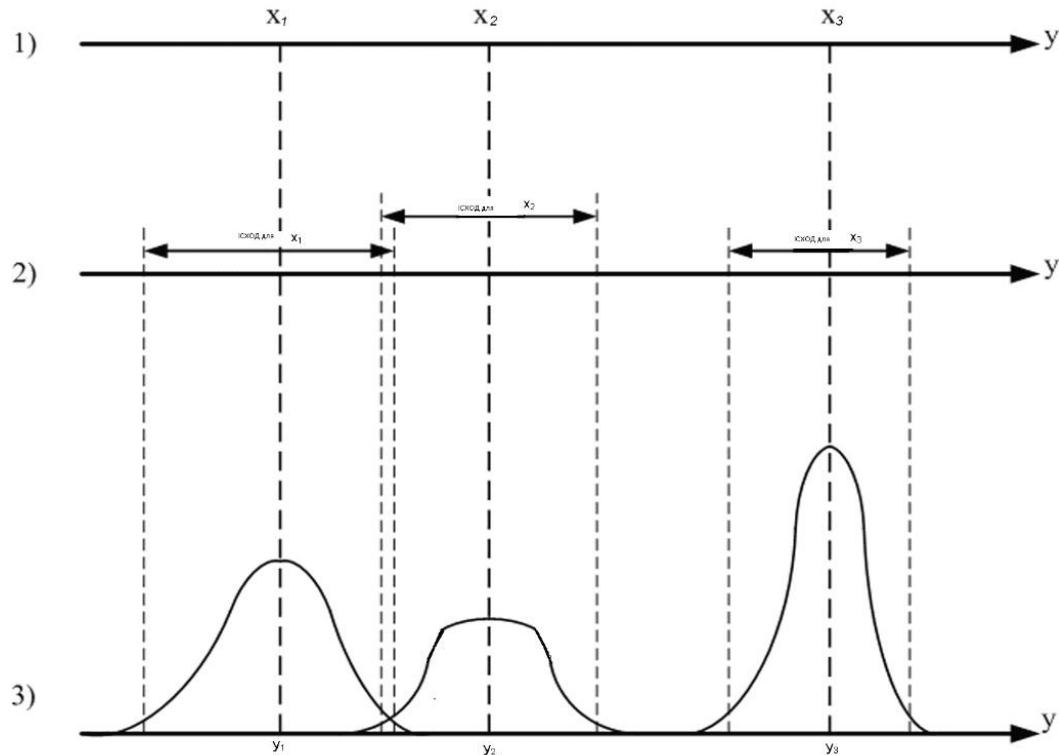


Рис. 3 – Види зв'язків між альтернативами та результатами

Робота виконувалась на кафедрі автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» в рамках теми «Інтелектуальні методи програмування, моделювання і прогнозування з використанням ймовірнісного і лінгвістичних підходів» (№ ДР 0117U000926) [1,2].

**Основні результати і висновки.** У даній роботі було у даному розділі було описано змістовну та математичну постановку задачі інтелектуального аналізу аномалій ритмів електрокардіограм. Були розглянуті методи вирішення завдання, оцінка якостей кожного, та вибір оптимального для використання в даному дослідженні. Був розроблений та представлений алгоритм розв'язання та показані результати дослідження.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Григорович В.В. Інтелектуальний аналіз аномалій ритмів електрокардіограм з використанням спеціалізованих баз знань / В.В. Григорович, І.В. Баклан, А.К. Очеретяний // Матеріали III всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління» (ІСТУ-2019) – м. Київ.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 20-22 листопада 2019 р. – С. 42-44.
2. Григорович В.В. Інтелектуальний аналіз аномалій ритмів електрокардіограм з використанням спеціалізованих баз знань / В.В. Григорович, В.І. Баклан, А.К. Очеретяний // Збірник статей LIV Міжнародна конференція "Розвиток науки в XXI столітті", 15 листопада 2019р. - Харків. Ч1. - С. 65-74.

## АНАЛІЗ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ БАЙЄСОВО-ЛІНГВІСТИЧНИХ МЕРЕЖ

*У статті приведений Байєсово-лінгвістичний підхід до аналізу числових рядів різної природи. В результаті дослідження були отримані такі результати, що підтверджують ефективність використання Байєсово-лінгвістичного підходу для аналізу даних, які можуть підвищити продуктивність практичних застосувань та автоматично стають дуже затребуваними в розвитку, а їх реалізація стає щоденним нагальним завданням.*

*Ключові слова: БАЙЄСОВІ МЕРЕЖІ, ЛІНГВІСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ*

**Вступ.** Якийсь час здавалося: навіщо всі ці байєсовські методи потрібні, у нас нейромережі і так прекрасно працюють. Але як часто буває, в якийсь момент з'ясувалося, що можна об'єднати переваги нейромережевого і байєсово-лінгвістичних підходів. В першу чергу - завдяки тому, що з'явилися техніки варіаційного байєсівського виведення, і ці моделі не суперечать один одному, а навпаки, прекрасно доповнюють, взаємно підсилюючи один одного. Байєсово-лінгвістичний підхід прекрасно комбінується, і на наших очах відбувається все більше робіт в цьому напрямку [1-5]. Скажімо, на головній конференції по машинному навчанню NIPS аж чотири воркшопу, присвячених байєсовим методам, і частина воркшопів - якраз по їх схрещування з нейронними мережами.

**Основная часть.** Основна мета даної роботи полягає в дослідженні та розробці математичних та програмних засобів для байєсово-лінгвістичної мережі та їх використання для аналізу даних. Розглянемо особливості байєсово-лінгвістичного підходу. Поперше, припустимо, є якась невідома величина, яку ми б хотіли оцінити з якихось її непрямим проявам. В даному випадку невідома величина -  $\theta$ , а її непрямий прояв -  $y$ . Тоді можна скористатися теоремою Байєса (рис. 1), яка дозволяє наше вихідне незнання або знання про невідому величиною, апіорне знання, трансформувати в апостеріорне після спостереження деяких непрямих характеристик, як-то побічно характеризують невідому величину  $\theta$ .

- Treats everything as random variables
- Encodes ignorance in terms of distributions
- Makes use of **Bayes Theorem**

$$\text{Posterior} = \frac{\text{Likelihood} \times \text{Prior}}{\text{Evidence}}, \quad p(\theta|y) = \frac{p(y|\theta)p(\theta)}{\int p(y|\theta)p(\theta)d\theta}$$

- Possible to compute the estimate for arbitrary **unknown** variable (**U**) given **observed** data (**O**) and not having any knowledge about **latent** variables (**L**) from the joint distribution  $p(U, O, L)$ :

$$p(U|O) = \frac{\int p(U, O, L)dL}{\int p(U, O, L)dLdU}$$

Рис. 1 – Теорема Байєса

Ключова особливість формули - в тому, що на вхід ми подаємо апіорне розподіл, кодує наше незнання або нашу невизначеність про невідому величину, і що виходом також є розподіл. Це вкрай важливий момент. Чи не точкова оцінка, а якась сутність того ж формату, що був на вході. Завдяки цьому стає можливим, наприклад, використовувати результат байєсівського виведення, апостеріорне розподіл, як апіорне в якійсь новій ймовірнісній моделі і, таким чином, охарактеризувати нову невідому величину з різних сторін шляхом аналізу її різних непрямих проявів. Це перше гідність, завдяки якому вдається отримати властивість розширюваності - або композування - різних ймовірнісних моделей, коли ми можемо з простих моделей будувати більш складні. Друге цікаве властивість. Найпростіше правило підсумовування твори ймовірностей означає: якщо у нас є ймовірнісна модель - а іншими словами, спільне ймовірнісний розподіл на всі змінні, що виникають в нашій задачі, - то ми, як мінімум в теорії, завжди можемо побудувати будь-який ймовірнісний прогноз, спрогнозувати цікавить нас змінну  $U$ , знаючи якісь спостережувані змінні  $O$ . При цьому є змінна  $L$ , яку ми не знаємо і вона нас не цікавить. За цією формулою вони відмінно виключаються з розгляду.

Для будь-яких поєднань цих трьох груп змінних ми завжди можемо побудувати таке умовне розподіл, яке і вкаже, як змінилися наші уявлення про цікавлять нас величинах  $U$ , якщо ми поспостерігали величини  $O$ , ймовірно пов'язані з  $U$ .

Всі величини в Байєсова підході можна трактувати як випадкові. Апарат теорії ймовірностей застосовується до параметрів розподілу випадкової величини. Іншими словами, те, що в класичному підході безглуздо, в Байєсова підході набуває сенсу. Метод статистичного методу, замість методу максимальної правдоподібності - теорема Байєса. Оцінки отримуємо не точкові, а виду апостеріорного розподілу (рис. 2), що дозволяє нам комбінувати різні ймовірнісні моделі. І на відміну від частотного підходу - теоретично обґрунтованого при великих  $n$ , а деякі доводять, наприклад, при  $n$ , що прагнуть до нескінченності - Байєсівський підхід вірний при будь-яких обсягах вибірки, навіть якщо  $n = 0$ . Просто в даному випадку апостеріорне розподіл співпадає з апіорним.

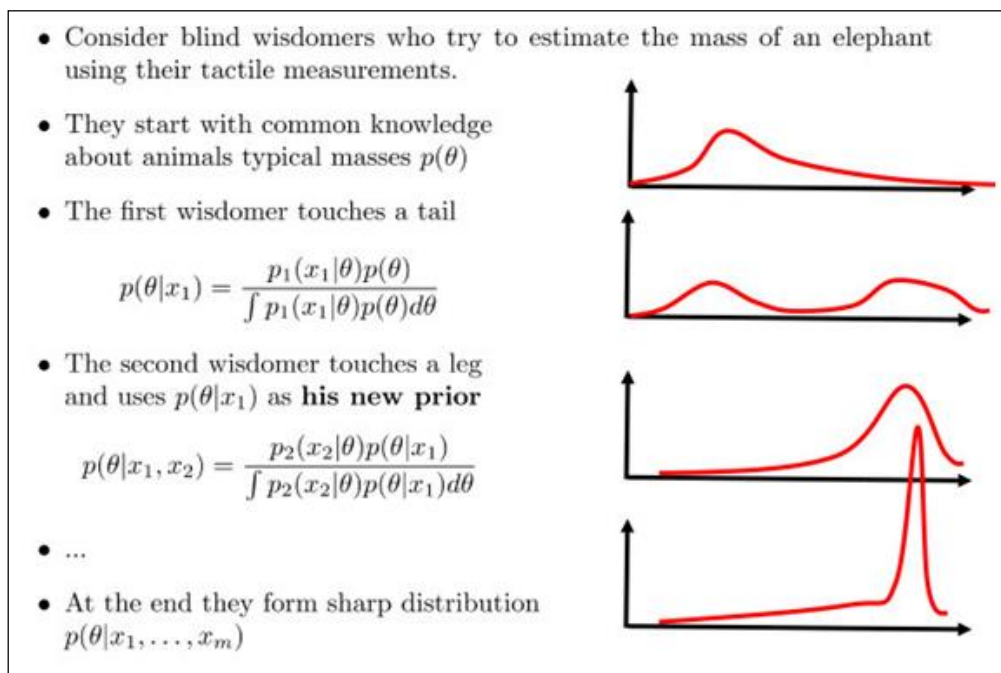


Рис. 2 – Апостеріорний розподіл

Інша перевага байєсівського підходу, вже стосовно до машинного навчання, - регуляризація. Завдяки обліку апіорних переваг ми перешкоджаємо зайвої налаштування наших параметрів в ході процедури машинного навчання і тим самим здатні справлятися з ефектом перенавчання. Якийсь час назад, коли алгоритми почали навчати на величезних обсягах даних, вважалося, що проблема перенавчання знята з порядку денного. Але справа була тільки в тому, що люди психологічно боялися переходити до нейромереж гігантського розміру. Всі починали з невеликих нейромереж, і вони, при гігантських навчальних вибірках, справді не переучувалися. Але в міру того, як психологічний страх зникав, люди починали використовувати мережі все більшого розміру. Зокрема, виявилося, що така популярна техніка евристичної регуляризації, як *drop out*, є окремим випадком, грубим наближенням для байєсівської регуляризації. Насправді мова йде про спробу зробити байєсівський висновок. Нарешті, третя перевага - можливість побудови моделі з латентними змінними (рис. 3). Основні положення роботи доповідались і обговорювались на 3-тій всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління» (ІСТУ-2019).

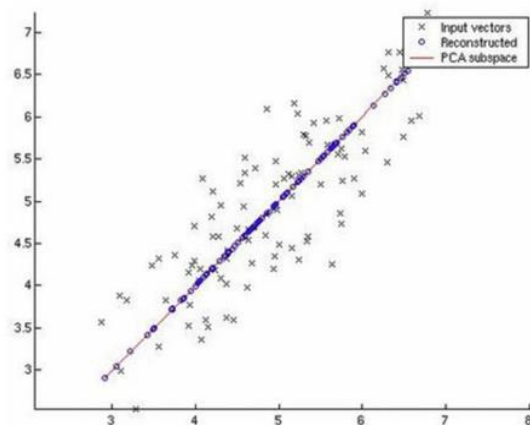


Рис. 3 – Модель з латентними змінними

**Висновки.** Було проведено огляд підходів до сучасного бачення байєсоволінгвістичних мереж. Приведений аналіз існуючих рішень, таких як API, окремі бібліотеки, десктопні застосунки та онлайн рішення. Отже опираючись на мінуси які були виділені, система має мати в собі крім звичайних мереж також лінгвістичне перетворення та аналіз цих даних.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Інформаційні технології на основі байєсових мереж для задачі розпізнавання користувача [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Баклан Ярослав Ігорович ; Нац. акад. наук України, Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т", Навч.-наук. комплекс "Ін-т приклад. систем. аналізу". - К., 2011. - 228 с.
2. Лінгвістичне моделювання (математичне моделювання) – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Лінгвістичне\\_моделювання\\_\(математичне\\_моделювання\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Лінгвістичне_моделювання_(математичне_моделювання)).
3. Баклан І. В. Аналіз поведінки економічних часових рядів з використанням структурних підходів. Сборник МКММ-2006. — Херсон: ХГТУ, 2006.
4. Баклан І. В. Лінгвістичне моделювання: основи, методи, деякі прикладні аспекти. Систем. технології. — 2011. — № 3. — с. 10-19.
5. Баклан І. В. Структурний підхід до розпізнавання образів у системах безпеки. Національна безпека України: стан, кризові явища та шляхи їх подолання. Міжнародна науково-практична конференція (Київ, 7-8 грудня 2005 р.). Збірка наукових праць. — К.: Національна академія управління — Центр перспективних соціальних досліджень, 2005. — с.375-380.

**ВДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ  
ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ГРАНУЛЮВАННЯ ВИСІВОК**

*У статті проведено аналіз роботи цеху гранулятора, виявлені особливості його роботи, та послідовність процесів, що відбуваються під час грануляції зернових висівок. Для підвищення ефективності та зниження кількості простоїв через аварії, була розроблена автоматизована система керування технологічним процесом гранулювання висівок на базі ПЛК.*

*Ключові слова: ГРАНУЛЯЦІЯ ВИСІВОК, ПЛК, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, SCADA, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ*

**Вступ.** В умовах сучасного розвитку тваринництва і птахівництва встановлюються вимоги до якості кормів, їх збалансованості і поживності та збільшення обсягу виробництва комбікормів. Це сприяє пошуку нових видів сировини та їх використанню у технології комбікормів. Висівки – побічний продукт борошномельного виробництва, що складаються з оболонок і деяких інших частинок зерна, відокремлених від ендосперму під час виробництва, який відіграє важливу роль в балансі сировини комбікормового виробництва. З метою продовження терміну зберігання, зручності транспортування, збільшення об'ємної маси та покращання якісних показників готового продукту застосовують спеціальну обробку – гранулювання.

Гранулювання сипких матеріалів - фізико-механічний процес, заснований на властивості сипких тіл ущільнюватись під дією зовнішнього навантаження. Розсипні продукти складаються з двох фаз: твердої, що містить деяку кількість вологи; газоподібної, що заповнює простір між частинками. Кількісне співвідношення цих фаз до і після пресування змінюється. При гранулюванні продукту по мірі зростання тиску нарастають пружні і пластичні деформації, виникають значні розклинюючі зусилля. Проходячи під тиском через фільтри (отвори матриці), сировина набуває форми гранул, діаметр яких близький до діаметру фільтр, а довжина гранул визначається положенням зрізного ножа (рис.1).

Гранулятор як об'єкт управління повинен би мати такі вихідні величини: продуктивність та якість гранул. Але здійснювати управління по таких прямих вихідних величинах неможливо, тому вибирають непрямі виходи, які забезпечують якість гранул і продуктивність процесу. Такими параметрами є завантаження головного приводного електродвигуна гранулятора та температура нагрівання гранульованої маси перед подачею її до гранулятора. Завантаження вимірюється струмовим трансформатором, включеним в коло живлення електродвигуна, а кількість пари, внесеної в суміш контролюється температурою суміші після змішування. Збурюючі дії на об'єкт управління залежить від фізико-механічних властивостей гранульованої маси, а також коливань температури продукту до обробки і коливань параметрів пари, що подається до змішувача. Управляючі дії здійснюються мірою витрат маси продукту в змішувач живильником-дозатором та зміною витрат пари.

**Основна частина.** Технологічний процес апаратного гранулювання висівок складається з наступних етапів:

1. Сировина подрібнюється в дробарці, потім за допомогою циклону і шлюзу завантажується в бункер, звідки дозатором рівномірно подається в змішувач, де воно зволожується водою або парою до вологості необхідної для гранулювання і інтенсивно перемішується мішалкою (волога сприяє утворенню міцних гранул).

2. Зі змішувача зволожена сировина виводиться в прес. У камері пресування сировина зтягується між обертовими матрицею і пресуючими вальцями і продавлюється в радіальні отвори матриць, де під дією великого тиску відбувається формування гранул.

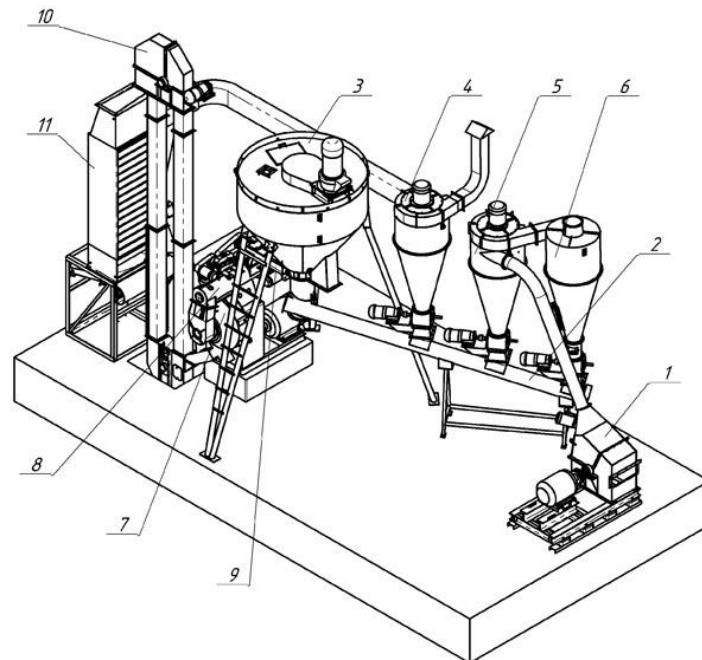


Рис. 1 – Обладнання для гранулювання біомаси:

1 – дробилка молоткова; 2 – транспортер шнековий похилий; 3 – бункер накопичувальний із впускувачем; 4,5,6 – циклон із шлюзовим затвором; 7 – прес-гранулятор; 8 – змішувач; 9 – дозатор; 10 – норія; 11 – охолоджувач.

3. Видавлені з отворів гранули натрапляють на нерухомий ніж і обламуються. Поворотом ножа на осі можна регулювати довжину обламувати гранул. Обламані гранули падають вниз і через рукав кожуха виводяться з преса.

4. Лопатки, які подають матеріали під вальці, виконані: одна трикутної (вона подає під валець тільки половину шару продукту), а друга – прямокутної (вона подає під другий валець весь продукт), тому при розробці преса необхідно зберегти розташування лопаток і вальців.

5. Гранули, що виходять із преса, мають високу температуру і неміцні, тому вони транспортуються в охолоджувальну колонку. Тут через шар гранул вентилятором всмоктується повітря, який охолоджує гранули і одночасно відсмоктує частину незгранульованої сировини в циклон. У процесі охолодження вологість гранул зменшується за рахунок випаровування води, і в гранулах відбувається фізико-хімічні зміни. В результаті вони набувають необхідну твердість, вологість і температуру.

6. З охолоджувальної колонки, у міру її наповнення, гранули поступають на сортування, де відбувається відділення кондиційних гранул від крихти. Гранули виводяться через вивантажувальну горловину, а крихта відсмоктується в циклон і далі направляється разом з сировиною на повторне пресування.

Основною задачею є перехід від майже неупорядкованого керування релейною схемою, до структурованого логічного управління за допомогою ПЛК, попутно використовуючи додаткові пристрої на зразок частотних перетворювачів та компенсуючих установок для поліпшення стану енергомереж підприємства.



Перша і головна перевага ПЛК, що зумовила їх широке розповсюдження, полягає в тому, що одне компактне електронне пристрій може замінити десятки і сотні електромеханічних реле. Друга їхня перевага в тому, що функції логічних контролерів реалізуються не апаратно, а програмно, що дозволяє постійно адаптувати їх до роботи в нових умовах з мінімальними зусиллями і витратами. Ряд додаткових функцій, якими володіють сучасні ПЛК, привели практично до повного переходу систем автоматизації на базу контролерів, без яких сьогодні не можна собі уявити будь-яку АСУ ТП.

ПЛК відрізняються від традиційних непрограмованих пристроїв управління наступними перевагами: вони більш гнучкі, надійніше, мають менші габарити, можуть бути об'єднані в мережі з іншими пристроями і перенастроюватися по Інтернету, швидше виявляють помилки, витрачають менше електроенергії, вимагають менше витрат на зміну своїх функцій і структури і взагалі менш затратні на великих відрізках часу.

При виборі контролера для задач автоматизації виробництва у користувачів є три варіанти: програмований логічний контролер (programmable logic controller, PLC), програмований контролер автоматизації (programmable automation controller, PAC) і індустріальний персональний комп'ютер (industrial personal computer, IPC). Щоб прийняти рішення, необхідно визначити коло вимог конкретних програм, включаючи базові принципи управління і можливу масштабованість в майбутньому, а отже, прийнятну гнучкість і універсальність контролера.

Також важлива програмна платформа, яка використовується для програмування контролера. Вона грає, підкреслимо, не менш важливу роль, ніж безпосередньо вибір відповідного апаратного забезпечення, і цей факт обов'язково потрібно брати до уваги в процесі прийняття кінцевого рішення на користь тієї чи іншої апаратної реалізації.

Для виконання таких завдань, як управління машиною, обладнанням або виробничими і технологічними процесами, підійдуть всі типові сімейства контролерів, т. Е. PLC, PAC і індустріальні персональні комп'ютери (ПК). У цих видів контролерів є багато відмінностей, але сучасна тенденція така, що їх функції поступово об'єднуються. Хоча PLC з'явився на ринку першим, граючи роль заміника реле, він як і раніше залишається кращим вибором для додатків малого і середнього рівня управління, реалізованого на основі простої логіки. Крім того, у міру адаптації нових технологій можливості PLC зростають, і це вже не просто заміна реле. Багато моделей PLC навіть нижнього рівня використовують програмування сходовій логіки, що цілком задовольняє вимогам більшості додатків. Дорожчі PLC можуть застосовувати функціональний обчислювальний блок і мови програмування, певні стандартом IEC 61131-3.

PAC надає більш розвинені, ніж у PLC, функціональні можливості для управління багатоосьовою рухом, забезпечення безпеки і машинного зору. Одне з підмножин цього класу контролерів - PAC на базі PLC, які об'єднують обчислювальну потужність PAC з простою функціональністю PLC. З іншого боку, індустріальні ПК, через здатність взяти на себе більш складні функції і працювати з додатковими мовами, такими як варіанти мови C, оптимально підходять для ще більш складних додатків.

Загальнопромислові двигуни, що застосовуються в складі приводних механізмів конвеєрів, насосів, повітродувок і компресорів, всі мають одну загальну властивість: при пуску двигуна в обмотках виникає підвищений струм, які можуть в шість разів перевищувати значення номінального струму двигуна. Підвищені значення струму негативно впливають на компоненти двигуна, знижуючи його ресурс, а також знижує якість електроенергії мережі живлення, особливо для великих електродвигунів починаючи з 1 кВт і більше. Саме тому для двигунів цього розміру часто використовують плавного пуску.

Ідея плавного пуску полягає в поступовому підвищенні напруги живлення, поки двигун не вийде на сталий режим. Це знижує пусковий струм, але також знижує пусковий крутний момент двигуна. Регулювання напруги живлення двигуна здійснюється шляхом використання, розташованих спина до спини тиристорів або сімісторів на кожній лінії живлення змінного струму. Тиристиори приводяться в дію на початковому етапі, таким чином, що їх послідовні включення відбуваються з невеликою затримкою для кожного напівперіоду. Затримка перемикає ефективно нарощує середнє змінну напругу на двигуні, поки двигун не вийде на номінальну напругу мережі. Після того, як двигун досягає своєї номінальної швидкості обертання, він може бути переключено безпосередньо (схема байпас). Для управління великими двигунами, як правило, застосовуються пристрої плавного пуску або частотні перетворювачі.

Пристрою плавного пуску можна протиставити вимикач і роз'єднувач повної напруги, який підключає повне напруга безпосередньо на клемах двигуна при запуску (прямий пуск). Такий спосіб пуску, обмежується маленькими потужностями двигуна, де підвищений пусковий струм не проблема.

Більшість електричних пристроїв використовуваних в різних галузях промисловості наряду з активною потужністю споживають і реактивну потужність (змішане навантаження).

Наявність змішаної навантаження призводить до необхідності використовувати більш потужні трансформатори і кабелі, а також викликає такі негативні наслідки:

1. Збільшення споживаної потужності;
2. Збільшення падіння напруги і втрат на нагрівання в кабелях;
3. Скорочення терміну служби обладнання;
4. Збільшення на 30-60% суми платежу на споживану електроенергію

Компенсація реактивної потужності є одним з найбільш доступних, ефективних і простих способів енергозбереження та зниження собівартості продукції, що випускається.

**Висновки.** У статті був проведений аналіз роботи цеху гранулятора, виявлені особливості його роботи, та послідовність процесів, що відбуваються під час грануляції зернових висівків.

Для підвищення ефективності та зниження кількості простоїв через аварії, була розроблена автоматизована система керування технологічним процесом гранулювання висівків, в яку входять нові елементи керування (наприклад ПЛК), що замінюють застарілі релейні схеми.

Оскільки робота з ПЛК вимагає написання програми, тож був проведений розрахунок вартості ПЗ та економічний ефект від цієї модернізації. До того ж, розроблені рекомендації з охорони праці для безпечної роботи працівників, що займатимуться безпосередньо експлуатацією та підтримкою системи.

## **ЛІТЕРАТУРА:**

1. Аветисян, Д.А. Автоматизация проектирования электрических систем. Москва: Высшая школа, 2005. 511 с.
2. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления (ССУЗ) Москва: КолосС, 2006. 352 с.
3. Брюханов, В.Н. Автоматизация производства. Москва: Высшая школа, 2005. 367 с.
4. Бобух А.О. Автоматизация инженерных систем: Навч. посібник. Харків: ХНАМГ, 2005. 212с.

## ОГЛЯД МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ KUJIRA

*Kujira - мова програмування загального призначення. Транслятор реалізовано на мові програмування Python і C ++. У даній статті демонструється дизайн мови і її архітектура.*

*Ключові слова: ФОРМА БЕКУСА-НАУРА, JVM, JIT, LALR, LL, LR, SLR, LLVM*

**Вступ.** Дана мова була створена для загального призначення, яка орієнтована на пошук синтаксичних помилок в коді. У мові Kujira існує unittest, за допомогою якого можна запускати автоматичні тести для впевненості в тому, що програма працює, як було задумано розробником. Такі тести можуть запускатися багаторазово.

**Основна частина.** Кожна мова програмування може бути описана певною граматикою. Класичний підхід - використання форму Бекуса-Наура. Дана мова програмування була створена на основі граматики LALR. Дана форма використовується для опису контекстно-вільних формальних граматик, зазвичай використовується для опису синтаксису мов програмування, форматів документів, наборів інструкцій і протоколів зв'язку. [1] Але на сьогоднішній день не так багато програмістів його використовують в 'чистому' вигляді. Найчастіше зустрічаються такі форми, як LALR, LR, LL. Розширена форма Бекуса-Наура - це формальна система визначення синтаксису мови. Тепер розглянемо на прикладі мови Kujira. Для цього використовувався LALR. LALR або Lookahead LR parser - це спрощена версія канонічного LR парсеру [3]. Парсери LR - це ефективні аналізатори знизу вгору, які можуть бути створені для великого класу контекстно-вільних граматик. Граматика LR (k) - це граматика, яка генерує рядки, кожен з яких може бути проаналізований під час одного детермінованого сканування зліва направо, не заглядаючи вперед більше, ніж на k символів. Ці парсери, як правило, дуже ефективні та інформативні в повідомленнях про помилки, але, на жаль, їх дуже важко написати без допомоги спеціальних програм [4]. У граматики LR є один недолік, у випадках, коли одна чи кілька станів. У таких прикладах синтаксичний аналізатор має конфлікт такий як "читання-зменшення", "зменшення-зменшення" або обидва. У першому випадку парсер не може вирішити, чи читати наступний символ вводу або зменшувати фразу в стеку. В останньому випадку плутанина між різними скороченнями [5], для цього був придуманий LALR. За допомогою синтаксичного аналізу LALR (lookahead LR) ми намагаємося зменшити кількість станів в синтаксичному аналізаторі LR (1) шляхом об'єднання схожих станів. Це зменшує кількість станів до рівня, рівного SLR (1), але при цьому зберігає деяку потужність запитів LR (1) [6]. Ця система (LALR) дозволяє автоматично створити лексему мови.

Розглянемо на прикладі:

```
?start: calc | NAME "=" calc -> assign | value | printval
```

Це запис граматики в формі LALR. ?start: це оператор який приймає числа, створює змінні, арифметичні операції і масиви, і вбудовані функції такі як print.

Лексичний аналізатор - це частина компілятора, який читає вихідний файл і

знаходить токени або лексеми. Прикладом може бути додавання двох чисел. Що він повинен зробити, так це визначити ідентифікатори, оператор присвоювання і числа, і оператор додавання. Так як використовується lark то не доводилося реалізовувати лексичний аналізатор з нуля. Якщо використовувати LLVM, то для цього потрібно створювати аналізатор використовуючи lex або Flex.

Також окрім лексичного аналізатора існує синтаксичний аналіз (парсер) коду.

Синтаксичний аналіз - це дерево розбору коду або більш правильно зіставлення послідовності лексем з його формальною граматикою.

Розглянемо приклад.

Нехай вихідний код буде таким

```
print "hi"
```

Відповідно дерево коду буде таким як на рис.1.

```
Tree(string, [Token(ESCAPED_STRING, '"hi"')])
```

Рис.1- Синтаксичний аналіз функції

Як можна помітити при парсингу вихідний код перетворюється в структуру даних, а точніше в дерево. Чому в дерево? Тому що обробка такого дерева відбувається простіше і швидше.

Після всіх аналізів і парсинга вся структура переводиться в машинний код.

Семантика мови програмування - це відповідність між синтаксично правильними програмами і діями абстрактного виконавця, тобто це сенс синтаксичних конструкцій. [2] Розглянемо приклад з мови програмування Kujira.

Синтезовані атрибути - ідея, запропонована Дональдом Кнудом, полягала в тому, щоб зіставити кожному вузлу дерева розбору програми деяку функцію, що визначає семантику цього вузла (табл. 1). Подібна інформація зберігалася в так званих атрибутах. Семантика конструкції може представлятися деякою величиною або набором величин, пов'язаних з конструкцією. Наприклад, семантика виразу  $3 + 4$  може бути цілим значенням 7, типом `int` або рядком `+ 3 4`. Величина, асоційована з конструкцією, називається атрибутом. Атрибут а для X будемо записувати як X.a, де X вважається нетерміналом або терміналом граматики. E.val розглядається як посилання на атрибут val вираження E. [3]

Таблиця 1 – Синтезовані атрибути

Опис арифметичного правила використовуючи граматику LALR	Семантичне правило
?calc: calc "+" prod -> add	E.val := E.val1 + T.val
?calc: calc "-" prod -> sub	E.val := E.val1 - T.val
?calc: calc "*" prod -> mul	E.val := E.val1 * T.val

Оскільки дана мова відноситься до Python мови, то переклад з природної мови в машинний відбувається за допомогою вбудованої віртуальної машини.

Після реалізації граматики, лексеми і синтаксису можна протестувати мову. Для тестування коду користується кінцевий автомат. Кінцевий автомат - абстрактний автомат, кількість можливих внутрішніх станів якого скінченна.

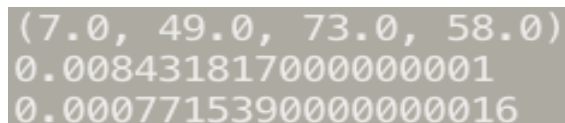
Створивши деякі бібліотеки для мови програмування, було вирішено порівняти його з мовою програмування Python. Чому саме на ньому, тому що багато бібліотек написані на Python використовують C ++. Стандартна бібліотека Куїра також частково написана на C ++.

Спершу порівнюються сортування так як це найпростіше з чого можна почати і одне з найпопулярніших методів порівняння. Вбудована в мову сортування використовує стандартну STL бібліотеку де є вже sort (). Тестувати проводилися за допомогою мови Python, для власної функції sort () аргументами були вектора. Так як мова Python не має векторів, але має кортежі, то використовуючи вектор фактично використовувалися кортежі Python'a.

Функція сортування:

```
std::vector<int> arr(std::vector<int> a){...}
```

Наступним етапом було порівняння швидкості, так як C ++ є одним з найшвидших мов програмування, то можна було вважати, що C ++ по швидкості випередить Python. Але на подив швидким виявився Python, завдяки алгоритму сортування який він використовує, а використовує він Timsort. Timsort - це ефективна комбінація декількох алгоритмів, зокрема merge sort і insert sort. Відповідно функція sort Python була в рази швидше ніж C ++. Тоді переписана бібліотека використовує timsort C ++. Результати теж були цікаві.



```
(7.0, 49.0, 73.0, 58.0)
0.008431817000000001
0.0007715390000000016
```

Рис.2 - Результат роботи алгоритмів

Перший час – це час сортування, написаний на C ++, другий на Python. З чим це пов'язано? Це пов'язано з тим, що у Python більшість модулів, а також ядро, написане на мові C.

Робота з файлами:

Час читання невеликих файлів практично однакова. Але у Python'a є один недолік при читанні файлів - якщо файл містить багато даних.

Для реалізації бібліотек використовувався SWIG. SWIG - інструмент розробки програм, що автоматично генерує прив'язки між кодом C/C++ і поширеними мовами сценаріїв, включаючи Tcl, Python, Perl і Guile (рис. 3). SWIG підтримує більшість типів даних C / C ++, включаючи покажчики, структури і класи. На відміну від багатьох інших підходів, SWIG використовує декларації ANSI C/C++ і вимагає, щоб користувач практично не вносив змін до базового C-коду [7].

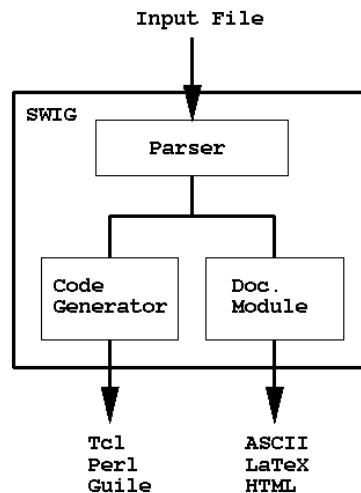


Рис.3 - Архітектура SWIG

В основі SWIG лежить уасс для читання вхідного файлу і конвертації в відомі скриптові мови. Входять файлом в основному є код написаний на мові C/C++ який за допомогою уасс парсеру перекладається в один з даних мов Tcl, Python, Perl і Guile.

**Висновки.** На чинний момент це мова, що розвивається. Куїра може проводити прості аналізи використовуючи unittest'i. Надалі мова буде отримувати багато інших особливостей, серед яких можна виділити такі, як бібліотека для штучного інтелекту, поліпшена бібліотека з хімії, фізики та біоінформатики.

Багато програмістів намагаються популярні мови програмування використовувати у всіх областях, зробити мову універсальним, через що ці мови програмування нагромаджуються і стає важко зрозуміти. Тому великі компанії, спільно з програмістами, намагаються створити нові мови програмування, специфічні до конкретної області застосування.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Синтаксис, семантика и прагматика <https://foxford.ru/wiki/informatika/sintaksis-semantika-i-pragmatika>.
2. Формальная семантика языков программирования [http://storage.piter.com/upload/contents/978549600032/978549600032\\_p.pdf](http://storage.piter.com/upload/contents/978549600032/978549600032_p.pdf)
3. LALR parser [https://en.wikipedia.org/wiki/LALR\\_parser](https://en.wikipedia.org/wiki/LALR_parser)
4. Amin Milani Fard, Arash Deldari and Hossein Deldari, Quick Grammar Type Recognition: Concepts and Techniques – 2007 [https://www.researchgate.net/publication/228609916\\_Quick\\_Grammar\\_Type\\_Recognition\\_Concepts\\_and\\_Techniques](https://www.researchgate.net/publication/228609916_Quick_Grammar_Type_Recognition_Concepts_and_Techniques).
5. Frank DeRemer, Thomas J. Pennello, Efficient computation of LALR(1) look-ahead sets // ACM SIGPLAN Notices. – 1979. Volume – 14, Issue 8. URL: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=800229.806968>.
6. Maggie Johnson, LALR Parsing <https://web.stanford.edu/class/archive/cs/cs143/cs143.1128/handouts/140%20LALR%20Parsing.pdf>.
7. David M. Beazley, SWIG : An Easy to Use Tool for Integrating Scripting Languages with C and C++ // Presented at the 4th Annual Tcl/Tk Workshop – 1996.

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ НАСОСНИМ ОБЛАДНАННЯМ  
ІРИГАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

*У статті проведено аналіз існуючих схем керування насосним обладнанням іригаційних систем, виявлені рішення, які доцільно застосовувати з метою комплексної автоматизації розподіленого об'єкту.*

*Ключові слова: НАСОСНЕ ОБЛАДНАННЯ, АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ, ЗРОШУВАЛЬНА СИСТЕМА, ДОЩУВАЛЬНА МАШИНА, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ.*

**Постановка проблеми.** Важливим аспектом підтримання технологічного процесу вирощування агрокультур є автоматизовані системи поливу, на території України широке розповсюдження має дощувальна машина «Фрегат» у зв'язку з чим виникають наступну проблему. Серійна механізована зрошувальна система серії «Фрегат» передбачає лише механічні методи управління що виключає дистанційне управління або управління з використанням систем автоматизованого управління [1]. Один з шляхів дистанційного керування таких систем є використання заслінок з електромеханічним приводом для вмикання або вимикання окремих фрегатів. Що у свою чергу створює задачу керування тиску у магістралі водопостачання фрегатів, шляхом керування насосним обладнанням, яке створює тиск у магістралі.

На сьогоднішній день використання автоматизованих систем та новітніх технологій у сільськогосподарському промислі є нормою та необхідністю для задоволення попиту. Перехід до ринкових відносин змінив умови наукового забезпечення агропромислового комплексу. Виник попит на наукові розробки, що забезпечують швидку окупність коштів при їх впровадженні [2]. Цілю дослідження є розробка систем автоматизованого управління насосним обладнанням іригаційних систем, знаходження способів управління механізованого обладнання за допомогою електронних засобів автоматизації.

**Основна частина.** Насосні станції бувають стаціонарними і пересувними. Стаціонарні зазвичай є капітальними спорудами та обслуговують великі зрошувальні системи, виконуючи роль головного водозабірної вузла. У колгоспах і радгоспах нашої країни широке поширення знаходять пересувні насосні станції, які, в свою чергу, поділяються на сухопутні і плавучі. Вітчизняна промисловість випускає широкий асортимент сухопутних пересувних насосних станцій; плавучі станції знаходять обмежене застосування: їх використовують в тих випадках, коли неможливо або недоцільно застосовувати сухопутні, наприклад, при подачі води з вододжерел з топки, високообривистими берегами і різко мінливих рівнем води. Найбільш поширене застосування на півдні України отримали пересувні установки типу «Фрегат». Вода подається від гідрантів закритої зрошувальної мережі або зі свердловин занурювальним насосом. Над гідрантом розміщена нерухома опора - металева конструкція, закріплена на бетонному фундаменті зі стояком, навколо якого обертається машина.

Дощувальна машина «Фрегат» виконана у вигляді рухомого по колу багатоопорного трубопроводу з розміщеними на ньому середньоструменевими дощувальними апаратами і призначена для поливу сільськогосподарських культур, лугів та пасовищ, зовнішній вигляд представлено на рис. 1. Водопровідний пояс машини висотою 2,2 м над поверхнею землі спирається на самохідні опори, які мають двоколісні візки з гідроприводом, що працює від енергії поливної води. Ланка (візок) машини складається з колісної самохідної опори з механізмом гідроприводу, труби

водопровідного поясу з дощувальним апаратом, А-образної форми з системою тросового кріплення водопровідного поясу, вузлів автоматичної системи синхронізації руху і аварійної зупинки [1].



Рис. 1 — Дощувальна машина «Фрегат»

Подачею води до закритої зрошувальної системи займаються насоси встановлені на насосній станції першого підйому. Задача автоматизації цієї станції є першочерговою проблемою при автоматизації всієї системи поливу. Схему живлення водою на ділянці з восьми севооборотними полями наведено на рис. 2.

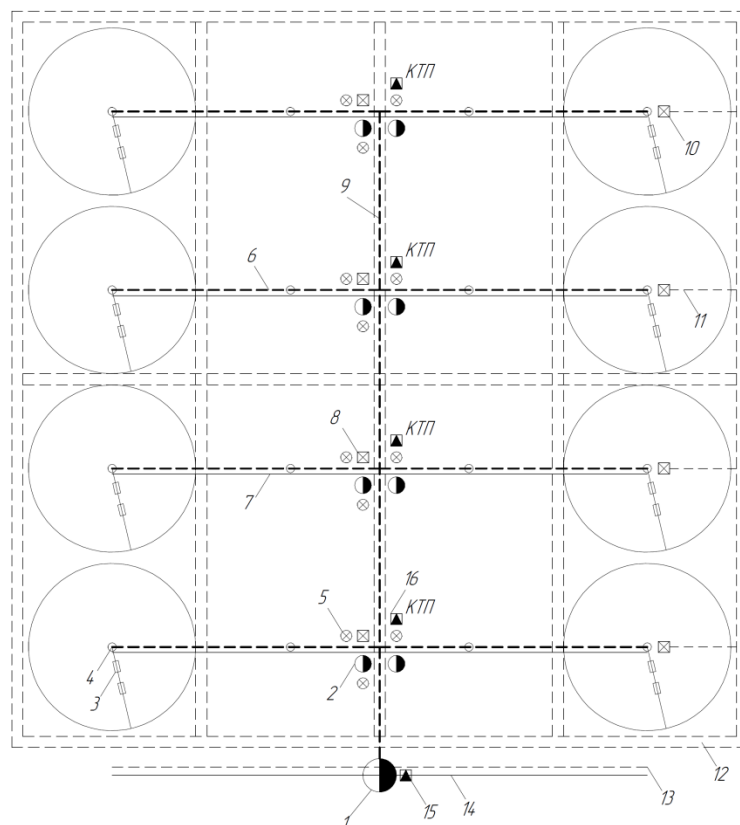


Рис. 2 – Схема живлення водою на ділянці з восьми севооборотними полями при поливі дощувальними машинами «Фрегат»

На рис. 2 застосовано наступні позначення: 1 - насосна станція; 2 - підкачувальна насосна станція; 3 - дощувальна машина «Фрегат»; 4 - гідрант для підключення машини



«Фрегат»; 5 – гідрант для підключення підкачувальної насосної станції; 6 - зрошувальний трубопровід; 7 - польові та експлуатаційні дороги; 8 - ремонтна засувка; 9 - розподільний трубопровід; 10 - скидна засувка; 11 - скидний трубопровід; 12 - лісосмуга; 13 - лінія зв'язку; 14 - лінія електропередачі; 15 - трансформаторна підстанція; 16 - комплектна трансформаторна підстанція [3].

Сучасна насосна станція - це група насосів і їх система управління, яка працює за певним законом в автоматичному режимі, що оснащується повним набором електричних і технологічних систем захисту.

Розглянемо докладніше, які рішення пропонують провідні виробники насосних станцій та систем управління для них [4]. У номенклатурних рядах різного виконання можна виділити п'ять основних схем побудови систем управління:

1. Електродвигуни насосів в станції підключаються безпосередньо до мережі через пускачі. При потужності двигунів понад 4 кВт запуск здійснюється за схемою зірка / трикутник. Контур регулювання виконаний на зовнішньому контролері. До нього ж підключається датчик тиску напірного і всмоктуючого колектора, а також котушки пускачів.

2. Один з насосів в станції має вбудований децентралізований перетворювач частоти. Контур регулювання виконаний на базі зовнішнього контролера з ПП-регулятором, який змінює продуктивність головного насоса по шині зв'язку. При збільшенні необхідної витрати системи регулятор за допомогою вбудованих реле контролера комутує котушки пускачів додаткових насосів. При потужності електродвигунів більше 4 кВт запуск проводиться за схемою зірка / трикутник.

3. Всі насоси станції мають вбудовані перетворювачі частоти. Контур регулювання виконаний на базі ПП-Регулятора одного з перетворювачів частоти. Регулятор за єдиною шиною здійснює підключення і відключення підлеглих перетворювачів частоти, а також формує для них завдання швидкості обертання.

4. У системі управління присутній зовнішній перетворювач частоти, який має додаткову можливість перемикання на будь-який з електродвигунів насосів станції за допомогою комутації пускачів силових вихідних ланцюгів. Контур регулювання також виконаний на його програмному ПП-регуляторі. Котушки пускачів додаткових насосів комутуються від декількох реле перетворювача частоти. При потужності електродвигунів понад 4 кВт підключення і відключення додаткових двигунів здійснюється за схемою зірка / трикутник.

5. Всі електродвигуни насосів управляються від зовнішніх перетворювачів частоти. Контур регулювання виконаний на базі ПП-регулятора одного з перетворювачів частоти. Регулятор здійснює підключення і відключення підлеглих перетворювачів частоти, а також за єдиною шиною формує для них завдання швидкості обертання. Схеми 1 і 2, що забезпечують прямі запуски насосів, створюють значні скачки тиску, гідроудари в системі. Отже, їх застосування можливе лише при наявності гідропневматичних баків підвищеного потрібного обсягу в напірної стороні станції. Це в свою чергу можливо в невеликих системах, де обсяги баків не перевищують 1 м<sup>3</sup>. У системах з необхідним великим об'ємом баків рівень витрат перевищує початкові інвестиції від вибору більш функціональних змін станцій 3 або 5. Зазначені зміни схем побудови систем управління працездатні для готових насосних станцій з одиничною потужністю електродвигуна до 30 – 45 кВт. Практично це межа для більшості загальнопромислових систем при роботі станцій в автоматичному режимі з прямими пусками на відкриту засувку. Загальна функціональна схема таких систем управління з одним перетворювачем частоти приведена на рис. 3. Подальше збільшення габариту насосів і одиничної потужності електродвигунів насосів в станціях визначає значні відмінності в схемах управління від зазначених вище конфігурацій.

Загальнопромислові насоси з потужністю електродвигуна понад 45 кВт практично завжди запускалися зі знизеним моментом на закрити засувку і вимагають постійного обслуговування і моніторингу з боку технічних служб. Сучасні вимоги до автоматизації насосних станцій не дозволяють в повній мірі поширити світовий досвід на вітчизняні промислові об'єкти. Причин тут багато і пов'язані вони більше з питаннями щодо низької окупності повних проектів реконструкції. Тому в подальшому має сенс розглядати автоматизацію насосних станцій з позицій модернізації приводної частини і контрольно-вимірювального обладнання[5].

Як вже було сказано, через неможливість запусків на відкриту засувку варіанти конфігурацій схем систем управління 1, 2, 4 не можуть бути використані.

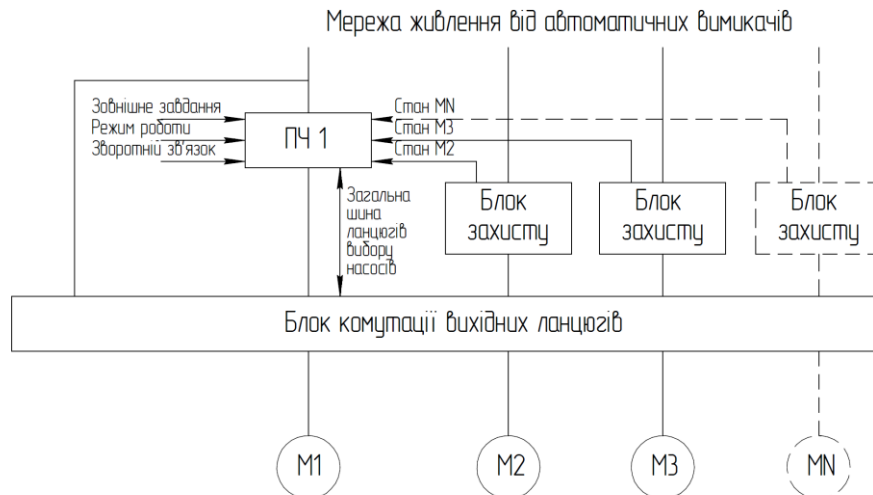


Рис. 3 – Функціональна схема управління насосною станцією 1:  
М1, М2, М3, МN – асинхронні електродвигуни насосів у станції;  
ПЧ 1 – перетворювач частоти

Найбільш популярна і бюджетна конфігурація систем нагадує схему 4 з додаванням в неї тиристорних пристроїв плавного запуску і зупинки електродвигунів підлеглих насосів. Це забезпечує їх ненаголошений запуск і зупинку на відкриту систему трубопроводів. Функціональна схема цієї конфігурації з одним перетворювачем частоти та пристроями плавного пуску приведена на рис. 4.

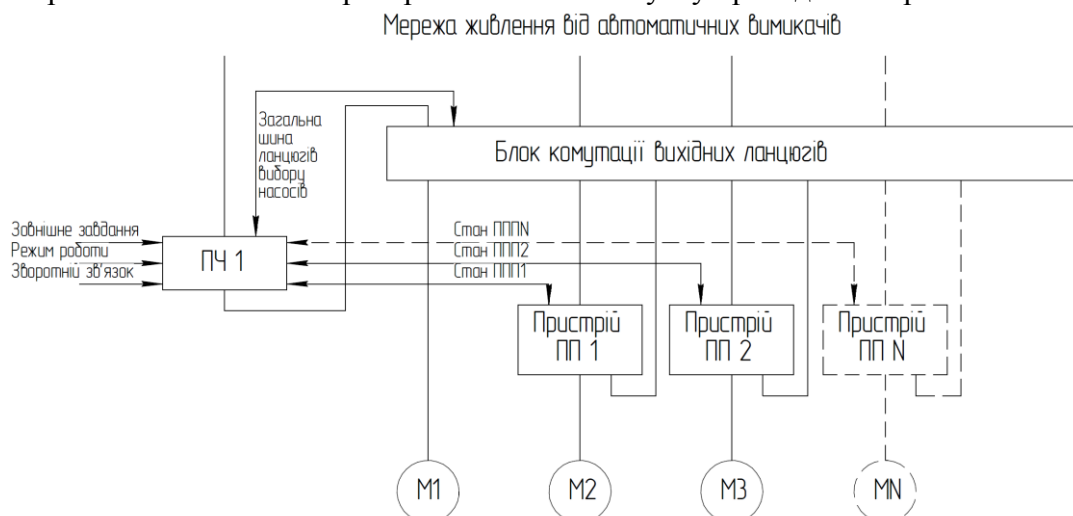


Рис. 4 – Функціональна схема управління насосною станцією 2:  
ППП 1, ППП 2, ППП N – тиристорні пристрої плавного пуску

Слід виділити ще один підхід, коли вихідні ланцюги перетворювача частоти можуть бути з'єднані з електродвигуном кожного підлеглого насоса через додаткові пускачі. Це дозволяє здійснювати перемикання частотного приводу на будь-який з електродвигунів станції, що забезпечує безперебійну роботу системи при виході з ладу будь-якого насоса, а також зрівнює в часі їх завантаження зі збільшенням ресурсу всієї схеми.

Серед недоліків цього рішення можна відзначити зростання кількості пускорегулювальної апаратури [6]. Починаючи з потужності електродвигуна більше 90 кВт це мало виправдано і веде до збільшення витрат в обслуговуванні і експлуатації. Тому при одиничній потужності понад 110 кВт доцільна схема конфігурації 5 системи управління станцією, коли на кожен електродвигун встановлюється свій перетворювач частоти.

Функціональна схема такої системи управління насосною станцією з підлеглими перетворювачами частоти приведена на рис. 5. Ефект від однієї швидкості обертання всіх насосів може мати додатково до 10 ... 12% від загального вкладу в енергозбереження. Причина полягає в тому, що відсутні втрати тиску у вихідному колекторі через різних швидкостей потоків перекачується від насосів в групі. При цьому відбувається істотне зниження витрат на обслуговування і експлуатацію самої системи управління станцією.

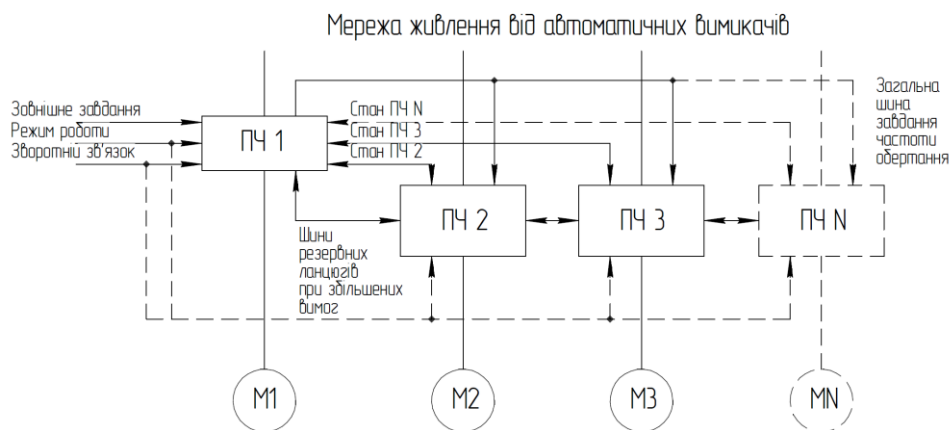


Рис. 5 – Функціональна схема управління насосною станцією 3:  
ПЧ 1, ПЧ 2,..., ПЧ N – перетворювачі частоти

Можна забезпечити вибір будь-якого насоса в якості основного без громіздких схем комутації вихідних ланцюгів і в аварійних ситуаціях по вихідних ланцюгів перетворювача частоти залишити контур регулювання в роботі на інших насосах. Вибір частот, при яких проводиться плавний запуск, зупинка і регулювання швидкості електродвигунів підлеглих насосів проводиться по зонах максимального ККД насосів, з урахуванням допустимої кількості запусків на годину електродвигунів і допустимого зміни тиску в системі трубопроводів.

**Висновки.** Найбільш перспективними підходами до автоматизації насосної станції закритої поливної системи можна вважати, по перше систему з одним перетворювачем частоти та пристроями плавного пуску, що забезпечує оптимальний варіант при одиничній потужності електродвигуна від 30 до 110 кВт. По друге коли одинична потужність електродвигунів перевищує 90 кВт, система управління станцією, коли на кожен електродвигун встановлюється свій перетворювач частоти.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. Орошение дождеванием: Учебное пособие /Ю.Б. Полетаев, К.Н. Криулин, М.Ю. Патрина; СПб. гос. Политехн. ун-т, 2003, 53 с.
2. Нагорный В.А. Экологически безопасные водосберегающие технологии в орошаемом земледелии саратовской области / В.А. Нагорный // Научные технологии в мелиорации. – 2005. – С. 145
3. Подготовка оператора дождевальных машин и установок: методические указания по выполнению практических занятий для обучающихся IV курса направления подготовки 23.03.02«Наземные транспортно-технологические комплексы» / Сост.: А.В. Русинов // ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. – Саратов, 2017. – 144 с.
4. Чебаевский В. Ф. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок / В. Ф. Чебаевский, К. П. Вишневский, Н. Н. Накладов. – Москва: Колос, 2000. – 376 с.
5. Толпаров Д.В. Эффективность использования насосов со встроенным преобразователями частоты в системах вентиляции, отопления и водоснабжения // Оборудование – регион. – 2006. – №3. С.23.
6. Толпаров Д. В. Анализ систем управления насосных станций / Д. В. Толпаров, Ю. Н. Дементьев. // Известия ТПУ. – 2007. – №4. – С. 113–118.

**АНАЛІЗ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ У СИСТЕМАХ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ  
ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРО-МЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**

*У статті розглянуто методи аналізу акустичних сигналів, отриманих в результаті роботи електромеханічного обладнання в режимі реального часу. Проаналізовано існуючі системи функціональної діагностики обладнання. Обґрунтовано доцільність застосування методів аналізу акустичних сигналів в системах функціональної діагностики. Визначено статистичні характеристики акустичних сигналів, отриманих в результаті проведення експерименту. Побудовано їх залежності від навантаження електродвигуна.*

*Ключові слова: АКУСТИЧНИЙ СИГНАЛ, ФУНКЦІОНАЛЬНА ДІАГНОСТИКА, ЕЛЕКТРО-МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, ЦІФРОВА ОБРОБКА СИГНАЛІВ.*

**Постановка проблеми.** При функціонуванні складних електромеханічних систем гостро стоять питання забезпечення нормальних режимів експлуатації обладнання в різноманітних умовах. Визначення стану функціонування системи при її експлуатації здійснюють за допомогою технічного діагностування. Одним з резервів підвищення якості функціонування виконавчих пристроїв є широке використання методів технічної діагностики. Для оцінки технічного стану (допустимого, передаварійного, аварійного) і діагностики динамічних процесів виконавчих електромеханічних пристроїв автоматичних систем найбільш інформативні сигнали - це характеристики акустичних коливань конструкції. Параметри акустичних сигналів залежать від конструктивних параметрів, умов роботи та дефектів (технологічних похибок) елементів, які змінюються в процесі функціонування виконавчих пристроїв.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виробничий шум має широкий спектр сигналу, параметри його можна розглядати як багатовимірний вектор. В момент контролю системи обчислюють поточну характеристику, яку порівнюють з типовими. Досвід застосування акустичних методів доводить, що в стані нормального функціонування енергія шуму робочих пристроїв здебільшого концентрується в області низьких частот, а енергія дефектів, розташовується на більш високих частотах. Цю обставину використовують для своєчасного виявлення порушень, які тільки починають з'являтися. [1] Технічний стан контрольованого об'єкта можна визначити за зареєстрованим сигналом шуму на основі порівняння статистичних характеристик реалізацій сигналів (щільності розподілів, автокореляційних функцій, енергетичних спектрів) або інших інформативних ознак. Недоліком більшості акустичних методів є необхідність зберігати в пам'яті контролю всі стани функціонування електромеханічного обладнання, що робить систему інформаційно надлишковою.[2] За допомогою використання акустичних сигналів, працюючих механізмів, можливо охарактеризувати, як загальні властивості систем, так і властивості їх частин.

**Формулювання мети дослідження.** Метою роботи є дослідження доцільності використання акустичних сигналів від працюючого обладнання для моніторингу і діагностики режимів роботи електромеханічного обладнання в режимі реального часу.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Призначенням систем функціональної діагностики є своєчасне виявлення відхилень у роботі будь-якого обладнання від нормальних робочих режимів. Процес перевірки здебільшого являє собою процес управління з багаторазовою подачею управляючих дій, коли управляюча дія може бути складною, а послідовність її подачі залежить від реакції об'єкта на попередні дії.

Функціональну схему діагностичної системи управління можна зобразити як на рис. 1.

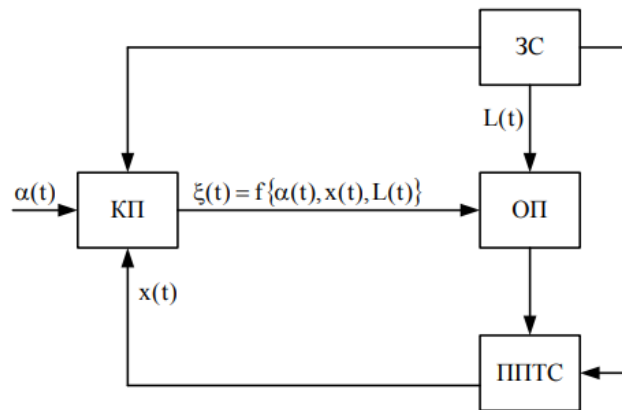


Рис. 1 — Функціональна схема діагностичної системи керування

Процес діагностування системи можливий за рахунок контролю стану об'єкта перевірки (ОП). Треба враховувати вплив зовнішнього середовища (ЗС). Інформація з об'єкта подається у підсистеми перевірки технічного стану (ППТС), потім данні надходять до керуючого пристрою (КП). В залежності від заданої мети керування ( $\alpha(t)$ ), вибираємо параметри перевірки об'єкта ( $x(t) \{x_1; \dots; x_n\}$ ) з урахуванням параметрів зовнішнього середовища ( $L(t)$ ). Керуюча дія має вигляд —  $\xi(t) = f\{\alpha(t), x(t), L(t)\}$ .

У сучасній практиці технічного контролю істотне значення набуває діагностика якості функціонування електромеханічних систем, яка базується на основі діагностичних моделей і на підставі діагностичних критеріїв, які обирають для оцінки технічного стану системи.

Недолік існуючих методів (органолептичні, радіаційний, термографічний, інфрачервоний, електричний, магнітний) в тому, що відбувається розпізнавання вже наявних дефектів, а не аналіз умов їх виникнення. Останнім часом з'явилася тенденція створення методів і способів діагностування технічного стану електромеханічних систем, заснованих на вивченні в них акустичних процесів.

Для проведення аналізу роботи систем використовують акустичний аналіз, де у якості носія інформації виступає звук. Перед проведенням аналізу характеристик в управляючих системах проводиться попередня обробка та дискретизація сигналу. В залежності від потреб що до аналізу сигналу, можуть використовуватися різні методи і принципи обробки.

Різні методи обробки акустичних сигналів дозволяють виявити різні характеристики, як то статистичні або динамічні. У промисловій автоматичній для обробки акустичних сигналів використовуються:

- методи лінійної фільтрації, що дозволяють проводити селекцію сигналу в необхідній частотній області, та проводити синтез фільтрів що узгоджені із сигналом.
- спектральний аналіз, що дозволяє оброблювати мовні, звукові, сейсмічні, гідроакустичні та інші види звукових сигналів.
- частотно-часовий аналіз задля виявлення відхилень у чуттєвих приймачах сигналу.
- адаптивна фільтрація, що дозволяє проводити розпізнавання звукових образів на основі раніше виявлених закономірностей, а також придушувати шуми.
- нелінійна обробка для обчислення кореляцій.

- багатошвидкісна обробка — інтерполяція (збільшення) і децимація (зменшення) частоти дискретизації в багатошвидкісних системах телекомунікації, аудіо-системах. Попередня обробка звукового сигналу дозволяє підготувати та систематизувати інформацію, що значно зменшує можливість виявлення помилок та погрешностей у подальшому аналізі.

Для проведення повноцінного аналізу звукових хвиль, використаємо деякі з основних понять спектрального аналізу.

Якщо виразити будь який сигнал через спектральний аналіз, виявляється сигнал є дискретною величиною, яку можна квантувати за часом [2]. Однак, якщо ми будемо розглядати такі сигнали з математичної точки зору, то можна визначити їх через періодичну функцію часу, що значно поширює можливості спектрального аналізу і дозволяє отримувати більш точні результати. Сигнал буде заданий як функція  $u(t)$  і в інтервалі часу від  $t_1 < t < t_2$ , повторюючись періодом  $T = \frac{2\pi}{\omega_1} = t_2 - t_1$  на усій протяжності часу.

При використанні базисних функцій експоненціальними, то можна виводити наступні формули. У комплексній формі ряд Фур'є можна представити:

$$u(t) = \frac{1}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} A(jk\omega_1) e^{jk\omega_1 t} \quad (1)$$

Комплексний спектр періодичного сигналу має вид:

$$A(jk\omega_1) = \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_2} u(t) e^{-jk\omega_1 t} dt \quad (2)$$

Так як отримання інформації пов'язано з усуненням невизначеності вхідних станів, функція часу буде нести інформацію тільки тоді, коли вона обрана із множини можливих функцій. Тому у якості моделей сигналу використовують випадковий процес.

У більшості випадків для аналізу процесу достатньо знати про прості характеристики випадкового процесу, аналогічний числовим характеристикам випадкових величин. Найбільш поширені моменти функцій перших двох порядків: математичне очікування, дисперсія, а також кореляційна функція.

Математичним очікуванням випадкового процесу  $U(t)$  називають не випадкову функцію часу, яка при будь-якому аргументі  $t_i$  дорівнює середньому значенню випадкової величини  $U(t_i)$  по всій множині можливих реалізацій.

$$m_u(t_1) = M[U(t_1)] = \int_{-\infty}^{\infty} u f_1(u, t_1) du \quad (3)$$

Ступінь розкиду випадкових величин процесу  $U(t_i)$  від середнього значення  $m_u(t_1)$  для кожного  $t_i$  характеризується дисперсією.

$$D_u(t_1) = M[(u(t_1) - m_u(t_1))]^2 = \int_{-\infty}^{\infty} [(u(t_1) - m_u(t_1))]^2 f_1(u, t_1) du \quad (4)$$

Середньоквадратичне відхилення – квадратний корінь з дисперсії

$$\sigma_u(t_1) = \sqrt{D_u(t_1)} \quad (5)$$

Випадкові процеси можуть мати однакові очікування, але відрізнятися по швидкості зміни своїх значень у часі. Для оцінки степені якості статистичних залежностей миттєвих значень процесу в довільні моменти часу використовується кореляційна функція.

$$R_u(t_1, t_2) = M \left[ \overset{o}{u}(t_1) \overset{o}{u}(t_2) \right] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \overset{o}{u}(t_1) \overset{o}{u}(t_2) f_2(u_1, u_2; t_1, t_2) du_1 du_2 \quad (6)$$

Неспроможність передати увесь спектр сучасними засобами, ми маємо також враховувати погрішність, яка може значно зменшити точність визначень, що отримані під час практичних експериментів. Цими похибками можна знехтувати у випадку діагностики на промисловості, але для кращого сприйняття спектрального аналізу сигналу краще використовувати уточнюючі формули для практичної ширини спектру, і тільки потім визначати такі характеристики, як наприклад співвідношення між шириною та довжиною сигналу.

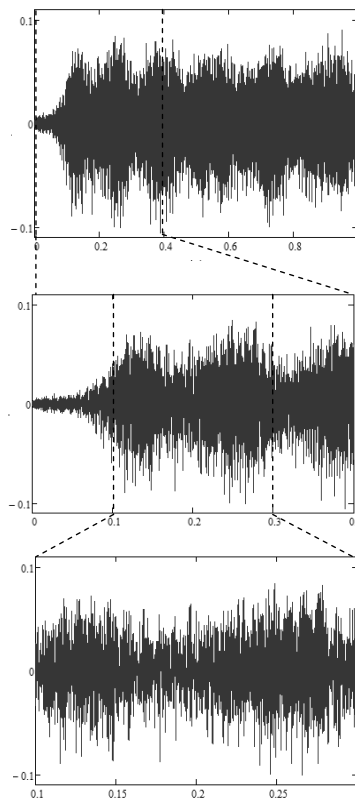


Рис.2 – Акустичний сигнал, що досліджувався



Робота двигуна була досліджена в режимі холостого ходу, із зануренням рухомих механізмів у воду. В подальшому до води додавали суміш різної густини. Таким чином була проведена серія експериментів.

Результати кожного експерименту були збережені за допомогою звукозаписної апаратури у форматі .wav, з частотою дискретизації у 44 КГц, глибиною квантування 16 біт.

Розрахунки були проведені для знаходження математичного очікування, дисперсії та середнього квадратичного відхилення. Побудовано гістограму з густиною розподілу ймовірностей за нормальним законом розподілення (рис. 3).

Також була розрахована ентропія сигналу. Кількість інформації, яка припадає на одне повідомлення, характеризує дискретне джерело повідомлення в цілому. Інше джерело з іншим ансамблем повідомлень матиме зовсім іншу питому кількість інформації. Ця загальна характеристика джерела називається його ентропією.

Точно ентропію можна визначити як математичне сподівання питомої кількості інформації:

$$H(U) = - \sum p(u_i) \log p(u_i) \quad (7)$$

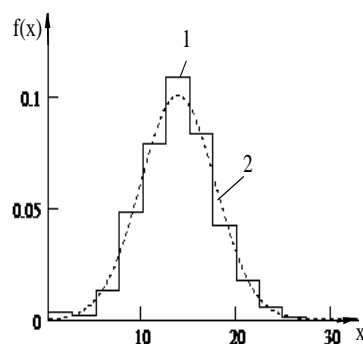


Рис. 3 – Гістограма з густиною розподілу ймовірностей

Розрахунок було проведено для усіх експериментальних даних, а результати моделювання зведені у таблиці 1.

Таблиця 1 - Статистичні характеристики акустичних сигналів

	500 об/хв		1000 об/хв		15000 об/хв	
	$\sigma$	H(U)	$\sigma$	H(U)	$\sigma$	H(U)
Холостий	0,019	2,78	0,017	2,81	-	-
Вода	0,025	2,897	0,022	2,73	0,023	2,715
+10%	0,017	2,555	0,019	2,695	0,018	2,754
+20%	0,016	2,682	0,016	2,775	0,016	2,755
+30%	0,015	1,667	0,013	2,686	0,014	2,735
+40%	0,022	2,045	0,024	2,433	0,016	2,644
+50%	0,013	2,639	0,014	2,812	0,015	2,893

Алгоритм обробки також включає знаходження статистичних характеристик сигналу, але не на всьому проміжку часу, а на його конкретних відрізках.

**Висновки.** Підвищити ефективність роботи електромеханічних систем можливо завдяки оптимізації процесів керування функціональною діагностикою технологічного

обладнання. Необхідно своєчасно виявляти критичні режими роботи устаткування, відповідно і діагностувати його стан. Діагностичні моделі функціонування дають можливість застосовувати для діагностики електромеханічних виконавчих пристроїв функціональні методи. Інтеграція систем акустичної діагностики в комп'ютеризовані системи управління складними багато привідними установками відкриває можливість в реальному часі оцінювати і виявляти критичні режими роботи електромеханічного обладнання, і своєчасно формувати керуючі впливи, що дозволяють стабілізувати функціонування виробничих комплексів.

#### **ЛІТЕРАТУРА:**

1. Пятибратов Г.Я. История развития и современные проблемы электроэнергетики и электротехники: учебное пособие /Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ).–Новочеркасск: ЮРГТУ, 2013.– 122 с.
2. Азовцев Ю.А. Вибрационная диагностика роторных машин и оборудования целлюлозно-бумажных комбинатов. / Ю.А. Азовцев, Н.А.Баркова, А.А. Гаузе // СПб.: СПбГУРП, 2014. - 127 с.

## АНАЛІЗ ЧАСОВИХ РЯДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛІНГВІСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

*На сьогоднішній день виявлення аномалій є однією із головних причин виконання аналізу даних. Можливість виявляти рідкісні та нетипові показники та події широко застосовується у найрізноманітніших сферах людської діяльності: інженерно-технічній, фінансово-економічній, медичній та інших. Із подальшим розвитком інтернету речей, потреба у автоматизованих системах моніторингу та прийняття рішень, здатних вчасно розпізнати збої або помилки в роботі різного роду пристроїв та інфраструктури, та недопустити небажаних наслідків, буде тільки зростати. Саме тому надзвичайно важливою сьогодні є розробка ефективних алгоритмів виявлення аномалій.*

*Ключові слова: АНОМАЛІЇ ЧАСОВИХ РЯДІВ, ЛІНГВІСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ЛІНГВІСТИЧНА МОДЕЛЬ*

**Вступ.** Виявлення аномалії, як одна із форм аналітики даних, з кожним роком знаходить все більше і більше застосувань у найрізноманітніших сферах людської діяльності. Так, із зростанням сектору IoT та глобальної інтеграції, все частіше постає потреба у інструментах для здійснення моніторингу кібернетичних систем, засобах реагування та усунення наслідків у разі збоїв та помилок у них. Виявлення вторгнень, несанкціонованого доступу, несправностей у критично важливих системах безпеки та системах управління інфраструктурою є одними із пріоритетних задач у сучасному світі інформаційних технологій.

Виявлення аномалії – це задача пошуку шаблонів у даних, які не відповідають очікуваній поведінці. Аномалії – це невідповідні спостереження, викиди, що суперечать природі досліджуваного процесу.

Важливість виявлення аномалії пов'язана з тим, що аномалії в даних несуть, часто, критичну інформацію про можливу загрозу приватності, конфіденційності та, навіть, життю і здоров'ю людини. Наприклад, аномальна схема трафіку в комп'ютерній мережі могла б означати, що зламаний комп'ютер посилає конфіденційні дані до несанкціонованого пункту призначення. Аномальне зображення МРТ може вказувати на наявність злоякісної пухлини. Аномалії в даних про транзакцію кредитної картки можуть вказувати на викрадення картки чи посвідчення особи, а аномальні показники з датчиків космічного корабля можуть свідчити про його несправність.

Методи виявлення аномалій, що базуються на навчанні застосовуються в багатьох прикладних областях, включаючи інформаційну безпеку, біоінформатику, автомобільну індустрію, астрономію та інші [1].

Проблема виявлення аномалій була досліджена в численних наукових областях та прикладних сферах. Багато підходів та технік було спеціально розроблено для застосування у певних предметних областях, тоді як деякі є більш узагальненими.

В загальному ж, більшість підходів до виявлення аномалій є вузькоспеціалізованими до можуть застосовуватись лише в певних умовах із накладанням численних обмежень. Досі не існує такого універсального методу, який би дозволяв виконувати детекцію аномалій на довільних даних, без спостереження та з достатньою точністю [2]. Серед відомих причин цього можна виділити наступні: ті дані, які є нормальними на даний момент, можуть вважатися аномалією в майбутньому (і навпаки), іноді границя між нормальними та аномальними значеннями дуже нечітка,

також дуже часто існує дефіцит даних для тренування і валідації моделей.

Ще одним недоліком багатьох існуючих алгоритмів є неможливість виявляти аномалії в потокових даних у реальному часі, багато з них можуть працювати тільки із статистичними історичними даними, тобто аналізувати характер перебігу явищ та процесів, які вже відбулись, маючи достатню кількість знань про хід аналогічних процесів.

На сьогоднішній день усі алгоритми виявлення аномалій можна поділити на 3 групи [3]: алгоритми виявлення аномалій без нагляду дослідника, виявлення аномалій із наглядом дослідника, а також комбіновані підходи.

Метою даної роботи є підвищення швидкості виявлення аномалій, в порівнянні з алгоритмами, що застосовуються в автоматизованих системах управління, за рахунок використання лінгвістичного моделювання та синтаксичного підходу до аналізу часових рядів.

**Основна частина.** У перекладі з грецької, аномалія - неправильність, відхилення від норми. При застосуванні у аналізі часових рядів під поняттям "аномалія" розуміється наявність значень, які значно виділяються із загальної закономірності, тобто такі значення, зокрема значення, які не зумовлені тенденцією, циклічною природою ряду або сезонними сплесками.

Нехай дано часовий ряд  $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\}$ , рівні якого виміряні через однакові проміжки часу. На першому етапі необхідно визначитись із алфавітом та виконати інтервалізацію ряду. Оберемо в якості алфавіту множину малих латинських літер –  $A = \{a, b, c, \dots, z\}$ ,  $N = |A| = 26$ . Кількість символів алфавіту визначає кількість інтервалів, по яких треба розподілити значення рівнів ряду. Зручно включати до алфавіту як великі, так і малі літери та використовувати їх для позначення додатних та від'ємних значень відповідно.

Для того, щоб подувати інтервали необхідно визначити  $X_{\min}$  та  $X_{\max}$ . Визначаємо крок інтервалу –  $\text{step} = (X_{\max} - X_{\min})/N$ . Розбиваємо інтервал  $[X_{\min}; X_{\max}]$  на  $N$  частин:

$$[X_{\min}; X_{\max}] = [X_{\min}; X_{\min} + \text{step}], [X_{\min} + \text{step}; X_{\min} + 2 \times \text{step}], \dots,$$

$$[X_{\min} + j \times \text{step}; X_{\min} + (j + 1) \times \text{step}], \dots, [X_{\min} + (N - 2) \times \text{step}; X_{\max}]$$

Поставимо у відповідність кожному інтервалу літеру із алфавіту:

$$\begin{aligned} a &= [X_{\min}; X_{\min} + \text{step}], \\ b &= [X_{\min} + \text{step}; X_{\min} + 2 \times \text{step}], \\ &\dots, \\ k &= [X_{\min} + j \times \text{step}; X_{\min} + (j + 1) \times \text{step}], \\ &\dots, \\ z &= [X_{\min} + (N - 2) \times \text{step}; X_{\max}]. \end{aligned}$$

Далі виконується підстановка еквівалентних символічних значень замість числових у вихідний ряд, за наступним принципом: якщо рівень  $x_i$  потрапляє до інтервалу  $j$   $[X_{\min} + j \times \text{step}; X_{\min} + (j + 1) \times \text{step}]$ , то замінюємо значення  $x_i$  на літеру, яка відповідає цьому інтервалу.

Таким чином, ряд  $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\}$  перетворюється на ряд  $L = \{l_1, l_2, l_3, \dots, l_m\}$ , де  $l_i \in A$ .

Виконавши перетворення, потрібно побудувати матрицю передування. Для цього

виконується підрахунок кількості входжень усіх символів, що передують символу, вказаному у рядку. Результат підрахунку представлено на рисунку 1.

	a	b	c	...	z	Всього
a	14	3	12	...	2	43
b	1	3	2	...	1	15
c	5	1	4	...	3	32
...	...	...	...	...	...	22
z	0	2	3	...	5	16

Рис. 1 – Кількість входжень кожного символу на відповідній позиції у послідовності

Після підрахунку необхідно визначити відповідну ймовірність знаходження кожного символу на даній позиції. Для цього необхідно для кожного рядка розділити значення кожного елемента на суму елементів у рядку, тобто на загальну кількість символів, що зустрічаються після даного. Матриця частот зображена на рисунку 2.

	a	b	c	...	z	Сума
a	0.32	0.069	0.27	...	0.046	1
b	0.067	0.2	0.13	...	0.067	1
c	0,156	0.031	0.125	...	0.093	1
...	...	...	...	...	...	1
z	0	0.125	0.188	...	0.313	1

Рис.2 – Частота розміщень кожного символу на відповідній позиції у послідовності

В результаті отримуємо матрицю із ймовірностями переходу станів марківського процесу, яка і є нашою лінгвістичною моделлю.

Іноді, для побудови моделі доцільно використовувати не оригінальний ряд, а його похідні – першу, другу різниці. Використання похідних дає змогу виявити неочевидні закономірності, які важко помітити у вихідному ряді.

Першою різницею ряду  $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\}$  є ряд  $X^1 = \{x_2 - x_1, x_3 - x_2, \dots, x_m - x_{m-1}\}$ , тобто ряд, який складається із попарних різниць сусідніх елементів. Друга різниця  $X^2$  отримується шляхом застосування тих самих операцій по відношенню до

членів ряду  $X^1$ .

Наявність аномалії встановлюється шляхом порівняння двох моделей - для навчального набору даних, у якому аномалії гарантовано відсутні, та для фактичних даних, у яких ми шукаємо аномалію. Для оцінки подібності застосовуються різноманітні метрики, а також методи експертних оцінок.

Перший підхід покладається на створення моделі, що характеризує нормальний перебіг процесу. Для цього із ряду виключаються всі аномальні ділянки, або одна обирається одна з ділянок ряду, що не містить відхилень від норми – таким чином утворюється так званий референтний ряд. Для нього виконується побудова лінгвістичної моделі.

Для того щоб визначити наявність аномалій у досліджуваному ряді потрібно для нього також побудувати лінгвістичну модель, а потім порівняти обидві моделі між собою [4,7]. Для цього вводиться рівень відстані, перебільшення якого можна вважати аномалією. Визначатися він повинен експертами, які виставляють свої експертні оцінки для цього рівня. В якості критеріїв порівняння можна використовувати як статистичні характеристики – середнє квадратичне (англ. RMS – root mean square), так і метрики відстаней, що застосовуються до порівняння лінгвістичних послідовностей – відстані Хемінга, Левентшейна та ін. Спершу визначається еталонне значення критерію подібності  $\epsilon_{\text{ет}}$  – відстань між моделями референтної та аномальної ділянок ряду. Після цього за допомогою рухомого вікна будуються моделі для ділянок досліджуваного ряду, що мають довжину близьку до референтної. Якщо розмір порівнюваних ділянок значно відрізнятиметься – граматика одного із рядів буде частково невизначеною, що може внести значні похибки при оцінюванні подібності моделей. Для кожної ділянки, обмеженої вікном, виконується порівняння з референтною моделлю і обчислюється  $\epsilon_{\text{факт}}$  – фактична відстань між граматиками досліджуваного та еталонного рядів. У випадку, якщо  $\epsilon_{\text{ет}} \gg \epsilon_{\text{факт}}$ , можна вважати, що аномалії відсутні. Якщо ж обидва значення мають однаковий порядок і відрізняються на незначну величину – у даній ділянці наявна аномалія.

Робота виконувалась на кафедрі автоматизованих систем обробки інформації та управління Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» в рамках теми «Інтелектуальні методи програмування, моделювання і прогнозування з використанням ймовірнісного і лінгвістичних підходів» (№ ДР 0117U000926) [5,6].

**Основні результати і висновки.** У даній роботі було здійснено огляд існуючих методів та алгоритмів виявлення аномалій у даних, що представлені у вигляді часових рядів. Було проведено порівняльний аналіз даних методів та алгоритмів, виявлено їх переваги та недоліки.

Формалізовано задачу виявлення аномалій у часовому ряді, сформульовано математичну постановку.

Було розроблено алгоритм виявлення аномалій, що ґрунтується на використанні синтаксичних та структурних методів із використанням ймовірнісних лінгвістичних моделей. Алгоритм дає змогу виявляти аномалії двома способами – виявляти сам факт наявності аномалій у ряді або шукати конкретний шаблон аномальної поведінки. Це досягається за рахунок вибору відповідних інтервалів тренувальних даних.

В ході розробки алгоритму було розглянуто 4 різні метрики оцінки лінгвістичних моделей. Беручи до уваги їхні сильні та слабкі сторони було обрано кореневе середньоквадратичне як найбільш прийнятний підхід.

Було розроблено програмне забезпечення для виконання лінгвістичного моделювання на основі часового ряду. Розробка даного програмного забезпечення здійснювалась із використанням мови програмування Java та інтегрованого середовища IntelliJ IDEA. Програмне забезпечення має інтерфейс командного рядка та надає

можливість зміни часового ряду, алфавіту, його потужності, періодів, а також передбачає виведення на друк (файл, екран) лінгвістичного ланцюга і результатів оцінки моделі. Отримані моделі можна використовувати також для прогнозування подальших рівнів ряду.

Було здійснено 7 експериментів із зазначеною вище програмною реалізацією алгоритму пошуку аномалій на основі лінгвістичного моделювання часового ряду. Експерименти підтвердили ефективність методу, оскільки для 5 з 7 досліджуваних рядів були точно виявлені всі аномалії. В одному з експериментів алгоритм помилково класифікував нормальні дані як аномалію. Ще в одному з експериментів одна із аномалій не була виявлена.

Було досліджено швидкодію розробленого алгоритму. Вимірювання показали, що даний алгоритм добре масштабується – із збільшенням кількості вхідних даних час обчислень зростає лінійно. Це пояснюється тим, що потужність алфавіту, яка визначає розмір лінгвістичної моделі, є параметром алгоритму і відома заздалегідь. Таким чином, на час виконання впливає тільки кількість рівнів часового ряду, що досліджується.

#### **ЛІТЕРАТУРА:**

1. Chandola V., Banerjee A., Kumar V., 2009. Anomaly Detection : A Survey. ACM Computing Surveys.
2. Gupta M., Gao J., Aggarwal C.C. and Han, J., 2014. Outlier detection for temporal data: A survey. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 26(9), pp.2250-2267.
3. Hodge V. J., Austin J., 2004. A Survey of Outlier Detection Methodologies.
4. Лінгвістичне моделювання (математичне моделювання) – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Лінгвістичне\\_моделювання\\_\(математичне\\_моделювання\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Лінгвістичне_моделювання_(математичне_моделювання)).
5. Логвинчук А. І. Застосування лінгвістичного моделювання до вирішення задачі пошуку аномалій / І. В. Баклан // Матеріали III всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Інформаційні системи та технології управління» (ІСТУ2019) – м. Київ.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 20-22 листопада 2019 р. – с. 65-67.
6. Lohvynchuk A., Baklan I. Linguistic approach for a time series anomaly detection – Slovak International Scientific Journal. – 2019. – №35, Vol. 1. – pp. 16-18.
7. Баклан І. В. Лінгвістичне моделювання: основи, методи, деякі прикладні аспекти. Систем. технології. – 2011. – № 3. – с. 10-19.

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ СОРТУВАННЯМ ШТУЧНИХ  
ПРОДУКТІВ НА КОНВЕЄРІ**

*Для автоматизації процесу управління штучним сортуванням продуктів у потоці на конвеєрі запропоновано схему автоматичного супроводження об'єктів на конвеєрній стрічці за відеосигналом. Траєкторію переміщення об'єктів у потоці пропонується спостерігати на основі функцій подібності між еталонним зображенням на попередньому й одним із множини фрагментів у зоні пошуку на наступному кадрі.*

*Ключові слова:* АВТОМАТИЗАЦІЯ, СУПРОВІД, ОБРОБКА ЗОБРАЖЕННЯ, ВІДЕОПОСЛІДОВНІСТЬ

**Вступ.** Прогрес в області створення систем виявлення та супроводу об'єктів донедавна стримувався через недостатню продуктивність засобів обчислювальної техніки. В останні роки методами і алгоритмами обробки зображень для систем автоматичного і автоматизованого керування приділяється все більша увага. При цьому необхідно враховувати, що досяжна точність у замкненій системі стеження визначається не тільки застосовуваними алгоритмами обробки зображень, але і використовуваними методами управління [1].

Послідовності зображень можна розглядати як тривимірні сигнали. Вони є набагато більш ємним носієм інформації, ніж звичайні зображення. Відповідно, для отримання максимуму інформації з відеопослідовностей бажано використовувати методи просторово-часової обробки сигналів. Відеопослідовності об'єднують в собі просторові властивості статичних зображень і властивості сигналів, що змінюються в часі, тому багато методи обробки сигналів можуть бути використані при роботі з відеопослідовностями, однак, на відміну від обробки статичних зображень, дослідник отримує можливість комбінувати різні просторові та часові алгоритми обробки сигналів, отримуючи тим самим більш якісні результати.

**Постановка задачі.** Підставою для даного дослідження є необхідність автоматизації процесу управління сортуванням штучних продуктів на конвеєрі та оптимізації рівня розпізнавання об'єкта.

**Основна частина.** Розробку такої системи можна поділити на декілька етапів:

1. Формування зображень і відео послідовностей. Дискретизація і квантування.

У відеокамері зображення, що спостерігається, проектується на світлочутливу матрицю. Спосіб цього проектування визначається оптичними характеристиками відеокамери і параметрами об'єктива, а також відстанню від об'єктива до світлочутливої матриці. Незважаючи на велику різноманітність і складність сучасних об'єктивів, процес формування зображення на світлочутливій матриці датчика в першому наближенні може бути описаний простими математичними моделями.

Важливими питаннями, пов'язаними із здійсненням дискретизації, є питання вибору розмірів і форми світлочутливих елементів матриці датчика, питання вибору часу експозиції, кроку матриці, частоти кадрів. Критерій успішного вирішення цих питань – можливість подальшого відновлення аналогового сигналу по дискретному масиву відліків із заданою похибкою. В процесі квантування значення відліків аналогового сигналу порівнюються з набором порогових рівнів. Якщо відлік попадає в інтервал між двома сусідніми рівнями, то йому приписується значення фіксованого рівня квантування (зазвичай двійкова кодова комбінація), відповідного даного інтервалу. Таким чином, якщо  $b$  - число двійкових розрядів, то при рівномірному коді



число рівнів  $L=2b$ . Людське око здатне розрізняти від 10 до 15 градацій значення світлин, однак воно має набагато більшу чутливість до різниці світлин сусідніх елементів зображення. При зменшенні кількості рівнів квантування кидається в очі ефект появи контурів в тих областях, де світлота вихідного зображення змінюється плавно.

2. Визначення основних параметрів зони контролю відеокамери системи відеоконтролю.

При проектуванні систем відеоконтролю (СВК) значна увага приділяється визначенню геометричних розмірів різних зон СВК і, відповідно, можливості оптимізації меж таких зон та кількості відеокамер (ВК).

При виборі відеокамери та об'єктива СВК визначальними є необхідна роздільна здатність, чутливість, здатність забезпечувати достовірне зображення (у тому числі при наявності руху в полі зору ВК і наявності яскравих джерел світла), а також можливо більший термін експлуатації ВК[2]. Залежно від призначення (для виявлення, ідентифікації або класифікації об'єкта) вибирають необхідний рівень роздільної здатності СВК, який, в свою чергу, обумовлює конструктивні особливості цієї системи і, значною мірою, її вартість. Крім того, аналізуючи призначення СВК, конкретизують та інші важливі складові системи: тип використовуваних камер, формат формувачів сигналу зображення, параметри застосовуються об'єктивів, а також деякі додаткові чинники, наприклад такі, як особливості кріплення ВК, припинення можливості скритного втручання в роботу СВК, вплив погодних умов і т. п.

Серед основних характеристик камер [3], що визначають їх застосування в СВК, виділимо наступні: оптичний формат, із збільшенням якого зменшуються геометричні спотворення зображення, що особливо характерно при великих кутових полях зору ВК; роздільна здатність, яка безпосередньо впливає на область застосування камери (виявлення, класифікація або ідентифікація об'єкта); порогова чутливість, від якої також залежить область застосування камери (для використання в системах з достатнім або поганим освітленням); можливість забезпечення керування об'єктивом з електромеханічним регулюванням діафрагми, що особливо важливо в СВК.

### 3. Опис зображення.

Є два основних способи опису зображень: детермінований і статистичний [4]. При детермінованому описі вводиться математична функція, що представляє зображення, і розглядаються властивості зображення в кожній точці. При статистичному описі зображення визначається усередненими характеристиками.

Детермінований спосіб опису безперервних і дискретних зображень – це спосіб опису зображень у вигляді функцій двох змінних  $F(x,y)$ . При цьому для дискретних зображень використовувався такий же спосіб опису, що і для безперервних, за винятком того, що дискретне зображення, на відміну від безперервного, являє собою зважену суму дельта-функцій, розміщених у вузлах сітки дискретизації. Однак на практиці дискретні зображення зазвичай подаються не у вигляді суми дельта-функцій, а у вигляді матриць чисел  $F(i,j)$  розмірністю  $N_1 \times N_2$ . Кожне число в масиві дорівнює енергії відповідної дельта-функції.

### 4. Методи фільтрації зображень.

Фільтрація зображень становить основу великої кількості методів обробки та аналізу зображень. Вона не тільки є частиною алгоритмів виявлення і виділення об'єктів, але застосовується і для придушення шумів, і для реставрації, відновлення, підкреслення деталей зображень. Існують лінійні та нелінійні методи фільтрації зображень [4]. Загальним для всіх методів фільтрації є те, що значення відфільтрованого сигналу на кадрі  $n$  в точці  $(i,j)$  обчислюється на базі відліків вихідного сигналу, що знаходяться в околиці точки  $(i,j)$ , взятої з поточного зображення, а також з

ряду попередніх зображень. При цьому алгоритм обчислення може залежати від координат точки  $(i, j)$  і від номера  $n$  зображення.

#### 5. Методи сегментації зображень.

Оскільки сегментація, як правило, має на увазі поділ точок зображення на кілька непересічних множин, які всі разом складають ціле зображення, то ці безлічі точок іноді називають класами, а процес сегментації часто називають класифікацією. Результат сегментації прийнято представляти у вигляді зображення, що має стільки ж елементів, скільки їх містить вихідне зображення. В ході сегментації всім точкам результуючого зображення, що належить одному класу, присвоюється одне і те ж значення.

#### 6. SIFT дескриптор і завдання зіставлення зображень.

Основним моментом в детектуванні особливих точок є побудова піраміди гауссианів і різниць гауссианів. Гауссианом (або зображенням, розмитим гауссовим фільтром) є зображення:

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y), \quad (1)$$

де  $L$  – значення гауссиана в точці з координатами  $(x, y)$ ,  $\sigma$  – радіус розмиття,  $G$  – гауссове ядро,  $I$  – значення вихідного зображення,  $*$  – операція згортки.

Різницею гауссианів називають зображення, отримане шляхом попиксельного віднімання одного гауссиана вихідного зображення з гауссиана з іншим радіусом розмиття.

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma). \quad (2)$$

Наступним кроком буде пара перевірок придатності точки екстремуму на роль ключової. Насамперед визначаються координати особливої точки з субпиксельною точністю. Це досягається за допомогою апроксимування функції DoG багаточленом Тейлора другого порядку, взятого в точці обчисленого екстремуму.

$$D(x) = D + \frac{\partial D}{\partial x} x + \frac{1}{2} x^T \frac{\partial^2 D}{\partial x^2} x, \quad (3)$$

де  $D$  – функція DoG,  $x$  – вектор зміщення щодо точки розкладання, перша похідна DoG – градієнт, друга похідна DoG – матриця Гессе.

Екстремум багаточлена Тейлора знаходиться шляхом обчислення похідної і прирівнювання її до нуля. У підсумку отримаємо зміщення точки обчисленого екстремуму, щодо точного. Коли положення точки екстремуму обчислено, перевіряється на малість саме значення DoG в цій точці.

Якщо особлива точка лежить на кордоні якогось об'єкта або погано освітлена, то таку точку можна виключити з розгляду. Ці точки мають великий вигин (одна з компонент другої похідної) вздовж кордону і малий в перпендикулярному напрямку. Цей великий вигин визначається матрицею Гессе  $H$ . Для перевірки використовують матрицю Гессе  $H$  розміру  $2 \times 2$ .

$$H = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{xy} & D_{yy} \end{bmatrix}.$$

Нехай  $\text{Tr}(H)$  – слід матриці, а  $\text{Det}(H)$  – її визначник.

$$\text{Tr}(H) = D_{xx} + D_{yy} = \alpha + \beta, \quad (4)$$

$$\text{Det}(h) = D_{xx}D_{yy} - (D_{xy})^2 = \alpha\beta.$$

Якщо  $r$  - відношення більшого вигину до меншого,  $\alpha = r\beta$ , тоді точка розглядається далі, якщо

$$\frac{\text{Tr}(H)^2}{\text{Det}(H)} < \frac{(r+1)^2}{r}. \quad (5)$$

Після вибору ключової точки, потрібно обчислити її орієнтацію, так як точка може мати кілька напрямків.

Напрямок ключової точки обчислюється виходячи з напрямків градієнтів точок, сусідніх з особливою. Всі обчислення градієнтів виробляються на зображенні в піраміді гауссіанів, з масштабом найбільш близьким до масштабу ключової точки. Величина і напрямок градієнта в точці  $(x, y)$  обчислюються за формулами:

$$m(x, y) = \sqrt{(L(x+1, y) - L(x-1, y))^2 + (L(x, y+1) - L(x, y-1))^2}, \quad (6)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1}((L(x, y+1) - L(x, y-1)) / (L(x+1, y) - L(x-1, y))),$$

де  $m$  - величина градієнта,  $\theta$  - його напрямок.

#### 7. Розробка математичної моделі

Для вирішення завдання визначення особливих точок зображень плодів був досліджений базовий алгоритм SIFT на прикладі двох об'єктів (рис. 1а та рис. 2а) та встановлено загальні векторні кути дистанції (рис. 1б та рис. 2б відповідно).

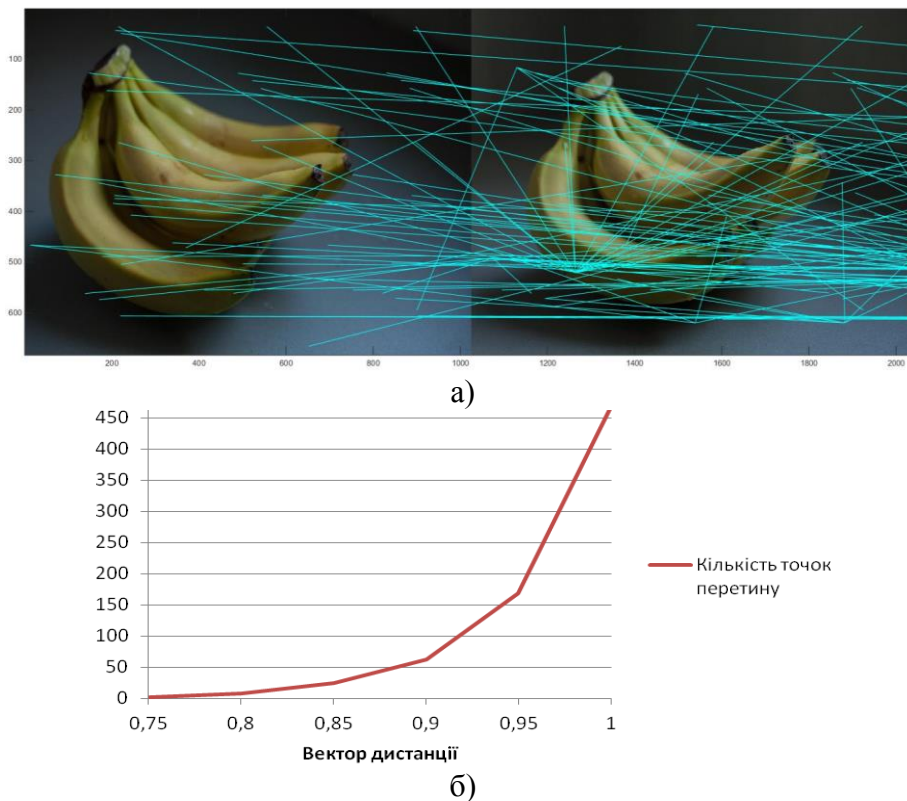
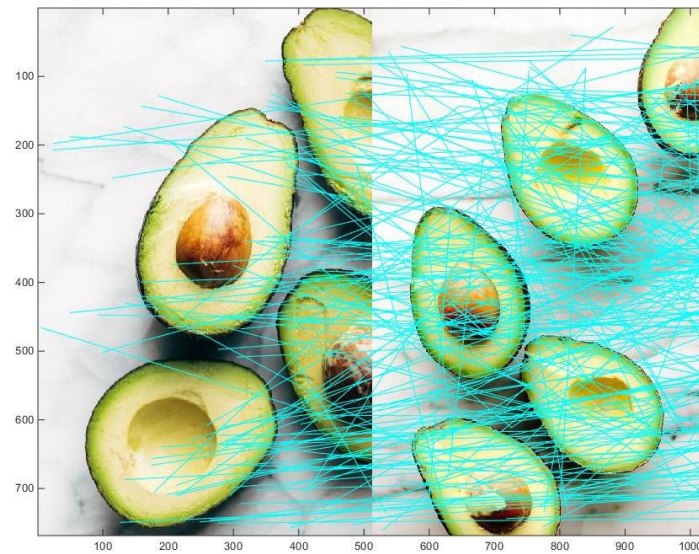
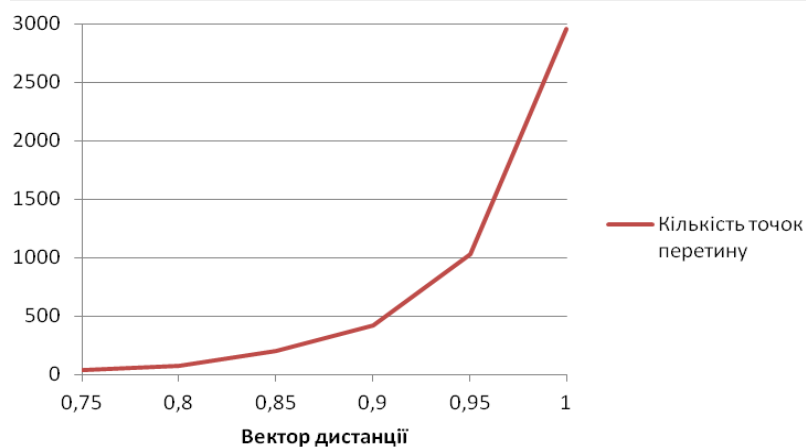


Рис. 1 – Досліджуваний зразок 1 (а) та залежність кількості точок перетину від дистанції (б)



а)



б)

Рис. 2 – Досліджуваний зразок 2 (а) та залежність кількості точок перетину від дистанції (б)

Як видно з рис. 1 та рис. 2 в точці 0,95 ми маємо більше 30% збігів ключових точок, що є достатнім для роботи системи автоматичного супроводження.

**Висновки.** Розроблена система управління процесом сортування об'єктів на конвеєрі в умовах харчової промисловості. Стеження за відеосигналами доцільно здійснювати на основі попарного аналізу послідовних кадрів. При цьому відстеження траєкторії переміщення об'єктів у потоці необхідно здійснювати на основі обчислення функції подібності між еталонним зображенням на попередньому і одним з множини фрагментів, що лежать в зоні пошуку на наступному кадрі. Для дотримання умови достовірності виявлення встановлено, що поріг величини взаємної кореляції повинен мати значення не менше 0,95.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Гонсалес Р., Вуде Р. Цифрова обробка зображень. М.: Техносфера. 2005.
2. Гарсія М. Проектування та оцінка систем фізичного захисту. М.: Світ. 2002.
3. Волхонський В. В. телевізійні системи спостереження. СПб.: Екополіс і культура. 1997.
4. Претт У. Цифрова обробка зображень. М.: Світ. 1982.

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВАНТАЖІВ НА СУХОВАНТАЖНИХ СУДНАХ**

*У даній статті розроблено структуру системи моніторингу стану вантажів з використанням безпроводних сенсорних мереж та досліджено алгоритми роботи сенсорної мережі (існуючих протоколів), визначені фактори, що впливають на енергоефективність системи, визначені набори методів по управлінню розподіленою сенсорною мережею.*

*Ключові слова: СЕНСОРНИЙ ВУЗОЛ, СЕНСОРНА МЕРЕЖА, МОДЕЛЮВАННЯ, СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, LEACH.*

**Вступ.** Однією з причин аварійності на флоті є недостатні або відсутні системи контролю за станом вантажу і газоповітряним середовищем в вантажних приміщеннях суден різних класів протягом рейсу [1,2]. Основними факторами забезпечення схоронності вантажів при морському транспортуванні є тепловологісний режим перевезення і цілісність перевезення вантажів. З метою додержання цих факторів використовуються безпроводні сенсорні мережі, за допомогою яких проводиться інструментальний автоматизований моніторинг характеристик вантажу і газоповітряного середовища в вантажних приміщеннях судна, відображення інформації про стан вантажу в реальному часі і документування зібраної інформації, а також вироблення рекомендацій екіпажу при виході контрольованих параметрів стану вантажу і газоповітряного середовища за встановлені межі [3,4].

Безпроводні сенсорні мережі (БСМ) розглядають як одне з важливих сучасних напрямків розвитку технологій в XXI столітті. Основна ідея БСМ - це відмова від безпосередньої участі людини в зборі інформації, наприклад, у зв'язку з неможливістю присутності людини-оператора в конкретному місці або при реалізації технологічного процесу, особливо якщо необхідний збір інформації протягом довгого часу. Великий інтерес до вивчення таких систем обумовлений широкими можливостями застосування сенсорних мереж.

Кластеризація виявилася при цьому одним з найважливіших методів створення БСМ. Функціонування кластеризованої БСМ багато в чому залежить від алгоритму вибору головного вузла, основні вимоги до якого полягають у вимогах щодо забезпечення максимальної тривалості життєвого циклу мережі і максимального покриття.

На теперішній час розроблено досить багато алгоритмів вибору головного вузла, в основному для БСМ зі стаціонарними сенсорними вузлами. У той же час цілий ряд проблем, пов'язаних з розробкою ефективних алгоритмів кластеризації для мобільних мереж, стійких до відмов алгоритмів, ще вимагає свого вирішення. Оскільки кластеризація використовується для БСМ з досить високою щільністю, важливою є також розробка методики розміщення сенсорних вузлів, що забезпечує необхідне покриття простору.

У зв'язку з викладеним дослідження, спрямоване на аналізування розроблюваних алгоритмів вибору головного вузла і методики розміщення сенсорних вузлів для ефективної кластеризації БСМ, є актуальним.

**Основна частина.** Для вирішення завдань, сформованих при аналізі моделей, методів та засобів керування процесом моніторингу стану вантажів морськими судами було розроблено структурну схему автоматизованої системи моніторингу стану

вантажів, з розташуванням датчиків температури, вологості, тиску, концентрації кисню і т.д. (рис. 1).

Ця система ґрунтується на тому, що в трюм поміщаються датчики наявності води, які контролюють утворення водонасиченого шару на різних висотах [5-7]. За спеціальним алгоритмом відбувається зняття показників з датчиків і оцінка рівня ризику настання стану розрідження.

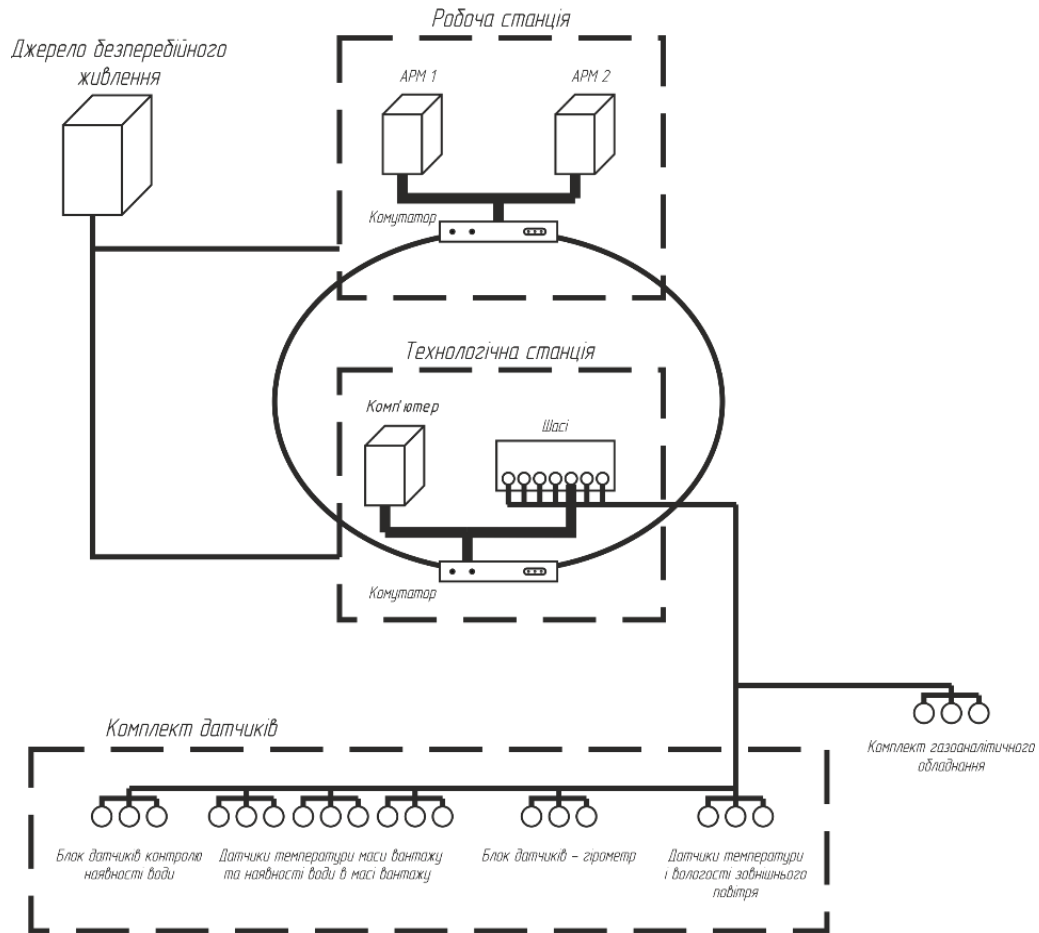


Рис. 1 – Структурна схема моніторингу стану вантажів

Інформація оновлюється і відображається у заданій формі, в заданому масштабі часу, по кожному вантажному приміщенню, починаючи з моменту закінчення завантаження, протягом рейсу і до початку процесу вивантаження. Система автоматично видає рекомендації щодо прийняття відповідних запобіжних заходів, звукові попереджувальні та аварійні сигнали, що продовжуються до квітування сигналу тривоги вахтовим персоналом.

Система складається з:

1. Технологічної станції, яка забезпечує взаємодію і зв'язок нижнього рівня (датчики) і верхнього рівня системи – робочої станції. Програмне забезпечення технологічної станції реалізує наступні функції: організацію опитування датчиків із заданою періодичністю, прийом і оцифровку сигналів від датчиків; попередню обробку отриманих даних (приведення результатів вимірювань до інженерних одиниць, виявлення факту виходу параметра за задані межі і т.д.); збереження даних у своїй базі даних реального часу.

2. Робочої станції, яка реалізує людино-машинний інтерфейс, виробляє остаточну обробку даних від технологічних станцій, реалізує функції звукового та візуального

оповіщення, збереження даних, повідомлень системи і алармов в архівній (історичної) базі даних і т.д. Робоча станція дозволяє конфігурувати склад системи під час налагодження після монтажу на судні, організовує роботу системи діагностики технічних засобів системи, реалізує розмежування доступу до інформації та програмного забезпечення.

3. Відповідних датчиків залежно від вирішуваних питань (температура і вологість навколишнього середовища).

При цьому забезпечено: безпосередній контакт сенсорів з газоповітряним середовищем трюму; простий демонтаж або заміна датчиків з боку вантажної палуби; безпроводне підключення датчиків; датчики температури всередині маси навалочних вантажу, сенсор наявності води в масі навалочних вантажу встановлюються в масі вантажу в процесі завантаження. Для підвищення ефективності функціонування системи моніторингу станів вантажу доцільно використовувати безпроводні сенсорні мережі. Кластеризація є невід'ємною частиною ієрархічних протоколів маршрутизації. У процесі досліджень по кластеризації БСМ було досліджено кілька алгоритмів кластеризації, таких як LEACH, DEEC і TEEN. Як правило, ці алгоритми кластеризації засновані на виборі головного вузла кластера. У якості показників для порівняння використовуються тривалість стабільного періоду функціонування сенсорної мережі, залишкова енергія, тривалості періодів часу до виходу з ладу першого і останнього сенсорних вузлів. Алгоритм адаптивної кластеризації LEACH. Робота LEACH розділена на ітерації. Кожна з ітерація складається з фази настройки і стаціонарної фази. У фазі настройки проводиться вибір головних вузлів і об'єднання їх з сусідніми пристроями. Рішення про вибір приймається незалежно усіма вузлами в один і той же час. Рішення про вибір головного вузла приймається на випадковій основі за допомогою наступного алгоритму.

Кожному з  $n$  вузлів присвоюється випадкове значення  $N$  від 0 до 1. За представленою нижче формулою (1) розраховується значення порога  $T(n)$ .

$$T(n) = \frac{P}{1 - P \cdot (r \bmod P^{-1})}, \quad \forall n \in G \quad T(n) = 0, \forall n \notin G \quad (1)$$

Якщо  $N < T(n)$ , то вузол стає головним кластером. Такий алгоритм гарантує, що кожен вузол буде обраний головним вузлом тільки один раз протягом  $1/P$  ітерацій.

Вузли, які були головними вузлами на нульовій ітерації, не можуть бути ними знову протягом  $1/P$  ітерацій. Після цього всі вузли можуть ставати головним вузлами. У стаціонарній фазі дані передаються базовій станції. У порівнянні з фазою настройки, стаціонарна фаза більш тривала для того, щоб мінімізувати витрату енергії.

Алгоритм кластеризації TEEN. Алгоритм базується на методі кластеризації LEACH. Кожен вузол в кластері періодично стає головним вузлом. Мережа з використанням алгоритму TEEN також має ієрархічну структуру на основі кластерної організації. Головний вузол може призначати своїм вузлам «жорсткий» (hard) і «м'який» (soft) пороги:

- жорсткий поріг - вузол посилає інформацію головному вузлу, за умови що кількість накопичених даних знаходиться в заданих межах;

- м'який поріг - вузол посилає інформацію головному вузлу, за умови що кількість накопичених даних змінилася як мінімум на величину, рівну або більшу, ніж м'який поріг. Алгоритм кластеризації DEEC. DEEC оцінює ймовірність вибору головного вузла  $p_i$  в багаторівневих гетерогенних БСМ у відповідності з наступною формулою:

$$p_i = p_{opt} \left[ 1 - \frac{E(r) - E_i(r)}{E(r)} \right] = p_{opt} \frac{E_i(r)}{E(r)}, \quad (2)$$

де  $E_i(r)$  - енергія вузла в ітерації.

При цьому в алгоритмі DEEC середня енергія мережі  $E(r)$  для довільної ітерації  $r$  розраховується як:

$$E(r) = \frac{1}{N} E_{total} \left( 1 - \frac{r}{R} \right). \quad (3)$$

$R$  означає загальну кількість ітерацій життя мережі і оцінюється наступним чином:

$$R = \frac{E_{total}}{E_{iter}} \quad (4)$$

На рис. 2 показана залежність залишкової енергії мережі від числа ітерацій.

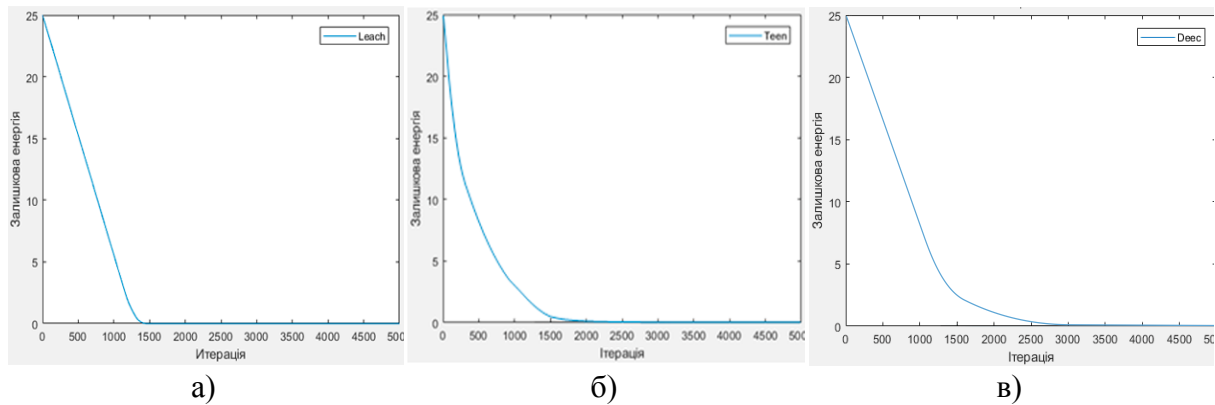


Рис. 2 - Залежність залишкової енергії мережі від числа ітерацій:

а) Алгоритм Leach, б) Алгоритм Teen, в) Алгоритм Deec

Було встановлено, що алгоритм DEEC має менші період стабільності мережі і життєвий цикл. Перший вузол для алгоритму DEEC вийшов з ладу на 1137 ітерації, тоді як для алгоритму LEACH це сталося на 1300 ітерації, а для алгоритму TEEN на 1400 ітерації. На рис. 3, 4 наведені залежності числа працездатних і непрацездатних вузлів відповідно.

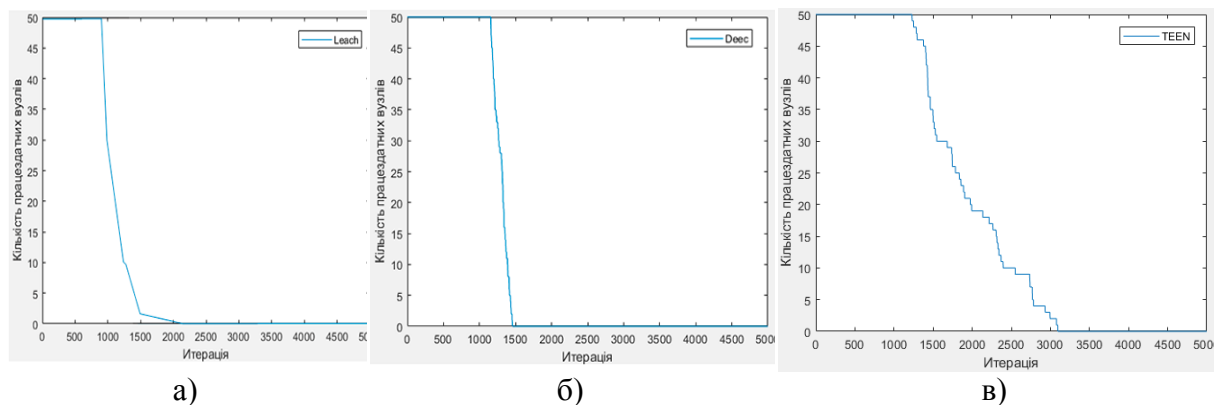


Рис. 3 - Залежність числа працездатних вузлів від числа ітерацій:

а) Алгоритм Leach, б) Алгоритм Deec, в) Алгоритм Teen



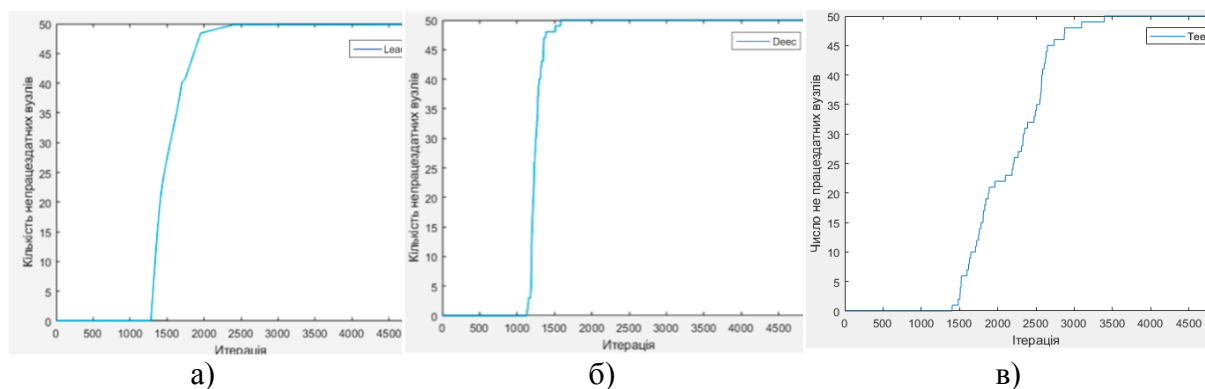


Рис. 4 - Залежність числа непрацездатних вузлів від числа ітерацій:  
 а) Алгоритм Leach, б) Алгоритм Dees, в) Алгоритм Teen

За результатами моделювання встановлено, що алгоритм DEEC має найбільші показники енергоефективності, але алгоритм TEEN є найбільш підходящим для побудови безпроводних сенсорних мереж у автоматизованих системах моніторингу стану вантажів на суховантажних судах, бо відрізняється кращою стабільністю роботи і достатньою енергоефективністю.

**Висновок.** У даній статті була обґрунтована актуальність обраної теми, розглянуто стан досліджуваної проблеми, визначена наукова новизна і практична цінність результатів, описана область їх застосування.

Було розроблено структурну схему системи моніторингу стану вантажів та алгоритм її роботи. Застосування такої системи поліпшить рівень контролю з боку екіпажу за вантажем і дасть можливість регулювати і підтримувати необхідні температури та вологості характеристики атмосфери трюму.

Порівнянні найпоширеніші алгоритми маршрутизації та самоорганізації для безпроводних сенсорних мереж зі стаціонарними вузлами на площині.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Иванов Ю.М., Буров О.Н., Глебова М.А. Безопасность морской перевозки разжижающихся и самовозгорающихся навалочных грузов. Транспорт Российской Федерации, 2012 № 6(43). URL: <http://www.rostransport.com/themes/12013> (дата звернення: 05.10.2019).
2. Александров К. Об остойчивости судна. Морской флот. 1983. № 8, с. 31.
3. Аксютин Л.Р. Борьба с авариями морских судов от потери остойчивости. Л.: Судостроение, 1986. 160 с.
4. Общие и специальные правила грузов 4-М – М. : ММФ В/О «Мортехинформреклама», 1988. Т. 2. 392 с.
5. Снопков В.И. Перевозка грузов морем: справочное пособие. Изд. 2-е – Москва: Транспорт, 1986. 319 с.
6. Рекомендации по вентилированию грузовых помещений сухогрузных судов и предотвращению подмокки груза конденсатом. Приказ Федеральной службы морского флота. 1996. URL: [http://zakonrus.ru/sea/pfsmf\\_43rec2.htm](http://zakonrus.ru/sea/pfsmf_43rec2.htm) (дата звернення: 05.10.2019).
7. Хордаст Г.С. Техническое кондиционирование воздуха и инертных газов на судах. Л.: Судостроение, 1974. 264 с.

## ПІДХОДИ І МОДЕЛЮВАННЯ УЗГОДЖЕНОГО РУХУ БАГАТОПРИВІДНИХ СИСТЕМ

*У даній статті процедури ідентифікації параметрів руху елементів установок каркасного типу розглядаються на прикладі дослідного зразка з використанням методів аналітичної геометрії. Отримано залежності, які дозволяють визначати положення, швидкості і прискорення окремих елементів, що може бути використано в подальшому при синтезі систем управління для установок із каркасною конструкцією. В статті описується каркасна багатoprивідна система з використанням крокових двигунів. Технологічне обладнання каркасної конструкції призначене для реалізації багатокоординатних процесів обробки за рахунок використання просторово-шарнірних механізмів з паралельною структурою. Рух платформи з робочим інструментом обумовлено рухом окремих вузлів уздовж напрямних стрижнів, що забезпечується роботою окремих електродвигунів. Перевагою таких конструкцій є можливість обробки деталей будь-якої складності, недоліком є низька механічна жорсткість.*

*Ефективні методи контролю можуть бути використані для вирішення даної проблеми. Польове управління розглядається як один з цих методів. Однією з проблем є вплив люфту на каретку багатoprивідної системи. Запропоновано спосіб вирішення цієї проблеми, який полягає у використанні нечітких контролерів.*

*Ключові слова:* АВТОМАТИЗАЦІЯ, СУПРОВІД, ОБРОБКА ЗОБРАЖЕННЯ, ВІДЕОПОСЛІДОВНІСТЬ

**Постановка проблеми.** Сьогодні в галузі через підвищені вимоги до технологічної технологічності та якості продукції повсюдно впроваджуються системи, що забезпечують точне позиціонування. Існує тенденція до збільшення використання універсального обладнання замість вузькоспеціалізованих машин та роботів, оскільки сама по собі можливість швидкої модифікації та налаштування навіть при деякому збільшенні вартості обладнання дає відчутні переваги. Одним із варіантів таких систем є багатoprивідні системи.

Прикладом багатoprивідної системи, що використовує крокові двигуни, є каркасний мультипривод. Ця мультипривідна система розроблена в Херсонському національному технічному університеті, яка може використовуватися як транспортний симулятор, інструмент обробки матеріалів або 3D-принтер.

У розробленій установці дротяного каркаса використовуються крокові двигуни, які перетворюють електричні імпульси керуючих сигналів в кутові обертальні рухи (дискретні механічні переміщення), фіксуючи їх у заданому положенні. Кожен покроковий механізм установки має можливість точно позиціонувати та керувати швидкістю, що добре підходить для системи, яка працює з малим прискоренням і з відносно постійним навантаженням.

Проблема управління цією системою - наявність пружних деформацій і люфт. Люфт і стійкість конструкції призводять до появи помилок позиціонування. Ступінь їх впливу залежить від багатьох факторів, таких як траєкторія та динаміка руху, інерційність елементів конструкції та властивості інструменту та деталі.

**Попередні дослідження.** У попередніх дослідженнях дано порівняльну характеристику механізмів паралельної структури з побудовами послідовної структури. Проаналізовано існуючі роботи вчених, що досліджують тренажери з паралельною кінематикою. Запропонована блок-схема системи управління рамковою установкою. Розроблений алгоритм системи системної діагностики мехатронної системи навчальної

платформи. Використовуючи практичний досвід, ми дослідили діапазон кутів нахилу оператора для більш ефективної імітації. Висловлюються пропозиції щодо розширення можливостей навчальної платформи.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є опис моделювання крокових двигунів загального підходу до управління багатоприводними системами, що дає можливість підтримувати опорні співвідношення відповідних керованих змінних. Представлені також деякі результати досліджень таких електромеханічних систем, де запропонований метод застосований для синхронізованого управління співвідношеннями швидкостей. Аналіз продуктивності у відповідних перехідних та стаціонарних режимах показує, що представлений тут контрольний підхід забезпечує хорошу синхронізацію в різних умовах праці. Такий підхід може вирішити проблеми узгодженого управління в установці з кількома приводами.

**Головна частина.** Багатоприводні системи є багатофункціональними та універсальними, оскільки мають достатній потенціал для ефективного вирішення багатьох промислових завдань. Це створює труднощі у виборі схеми проектування або розташування такого обладнання, яке зазвичай має просторове розташування приводів із закритими кінематичними ланцюгами. Для ефективного використання такі установки повинні мати звичні комп'ютеризовані системи управління та чіткі технічні засоби проектування, побудовані на кінематичних законах з параметричними з'єднаннями. Часто в таких системах виникає проблема скоординованого управління. Рішенням цієї проблеми може стати використання сервоприводів або крокових двигунів.

Рух платформи робочим інструментом (органом) визначається переміщенням окремих вузлів (вагонів) уздовж направляючих брусків, що забезпечується роботою окремих двигунів. Розглянемо спрощену кінематичну схему симетричної каркасної конструкції з чотирма направляючими стержнями

Розглянута установка симетрична, геометричні розміри її елементів задаються на етапі проектування та виготовлення:  $d$  - відстань між опорами консолей (штанги),  $r$  - довжини важелів, на кінцях яких є платформа із встановленим робочим інструментом;  $\alpha$  - кут консолей до прямої лінії між опорами консолей. Первинні положення кареток  $s_i$  вважаються відомими.

Для забезпечення фізичної реалізації кут нахилу повинен бути в межах.

$$\frac{\pi}{4} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}.$$

При  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  отримаємо окремий випадок каркасної конструкції з вертикальними паралельними штангами. Положення робочої платформи, тобто координати її центру  $O(x, y, z)$  можна визначити як точку перетину сфер з радіусами та відповідними центрами  $O_i(x_i, y_i, z_i)$ .

Координати центрів сфер відповідають положенню кареток, і їх можна знайти з відношень

$$\begin{aligned} x_1 &= -s_1 \cdot \cos \alpha + \frac{d}{2}, & y_1 &= -x_1, & z_1 &= s_1 \cdot \sqrt{\sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha}, \\ x_2 &= -s_2 \cdot \cos \alpha + \frac{d}{2}, & y_2 &= x_2, & z_2 &= s_2 \cdot \sqrt{\sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha}, \\ x_3 &= s_3 \cdot \cos \alpha - \frac{d}{2}, & y_3 &= -x_3, & z_3 &= s_3 \cdot \sqrt{\sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha}, \\ x_4 &= s_4 \cdot \cos \alpha - \frac{d}{2}, & y_4 &= x_4, & z_{41} &= s_4 \cdot \sqrt{\sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha}. \end{aligned} \quad (1)$$

Для забезпечення механічної жорсткості конструкції достатньо трьох важелів. Розглянемо каретки  $O_1, O_2, O_3$ . Координати каретки  $O_4$  та відповідне його переміщення  $s_4$  вважатимуться залежними параметрами, визначеними з умови проходження обчисленої точки  $O(x, y, z)$  за радіусом сфери, центр якого лежить на направляючому стрижні.

$$r^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2, \quad i = (1 \dots 3). \quad (2)$$

### 1. Моделювання крокового двигуна.

Крокові двигуни - це цифрові приводи, які приймають входні імпульси і реагують на них, обертаючи вихідний вал на рівні кроки для кожного входного імпульсу. Крокові мотори в основному використовуються в простих завданнях з точки зору позиціонування, в яких вони керуються відкритим циклом. Управління відкритим контуром не використовує ніякої інформації щодо положення або швидкості валу двигуна, а у відкритому контурі двигун приводиться в рух потягом імпульсів із заданим інтервалом часу.

Математичну модель можна розділити на дві підмоделі. В електричній моделі фази крокових двигунів можуть моделюватися як ланцюг RL і задня електрорушійна сила (emf). Фаза а і фаза b задані формулами (3) і (4).

$$L_a \frac{di_a(t)}{dt} = -R_a i_a(t) - e_a(t) + u_a(t) \quad (3)$$

$$L_b \frac{di_b(t)}{dt} = -R_b i_b(t) - e_b(t) + u_b(t) \quad (4)$$

де  $e_a(t) = k_m \omega_m \sin(\rho \theta_m)$  та  $e_b(t) = k_m \omega_m \cos(\rho \theta_m)$ .

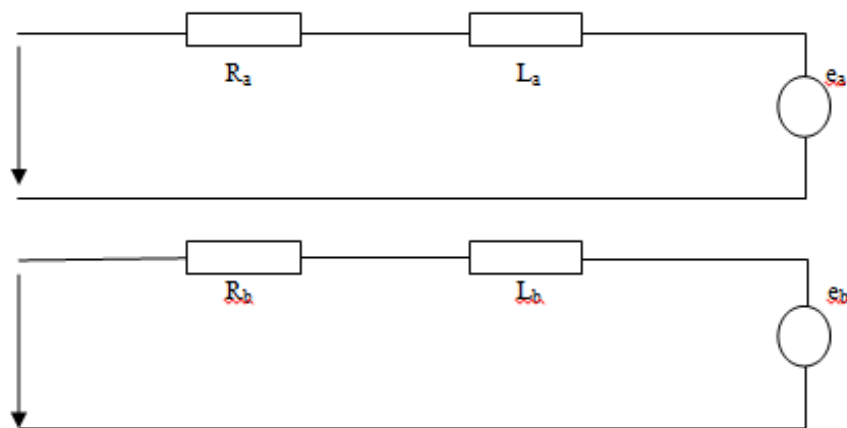


Рис. 1: Еквівалентні схеми гібридного крокового двигуна

У рівняннях (3) та (4) фазові опори та індуктивності вважаються рівними,  $R_a = R_b = R[\Omega]$  та  $L_a = L_b = L[H]$ . Більше того,  $u_a(t)$  і  $u_b(t)$  - кінцеві напруги [V],  $e_a(t)$  і  $e_b(t)$  - задня emf [V],  $K_m$  - константа двигуна, число чи пара моторних полюсів - кутова швидкість ротора (механічна) [rad / s], а  $\theta_m$  - кутове (механічне) положення ротора [rad]. Вал гібридного крокового двигуна, який представляє механічну частину системи, моделюється як жорстке тіло, яке зазнає іншого моменту. Диференціальне рівняння механічної підсистеми задається за допомогою (3),

$$J_m \frac{d\omega_m}{dt} = \tau_{em} - B\omega_m - \tau_{dm} - \tau_l \quad (5)$$

де  $\tau_{em} = K_m(-i_a \sin(\rho\theta_m) + i_b \cos(\rho\theta_m))$  та  $\tau_{dm} = T_{dm} \sin(2\rho\theta_m + \alpha)$ . У механічній моделі  $J_m [kg \cdot m^2]$  - інерційний моторний момент,  $B$  [кг / см] - коефіцієнт в'язкого моменту тертя двигуна,  $\tau_{em}$  [Nm] - електромагнітний крутний момент,  $\tau_{dm}$  [Nm] - застосований обертаючий момент,  $\alpha$  - зсув фази, пов'язаний з  $\tau_{dm}$ , і  $\tau_l$  [Nm] - прикладний крутний момент навантаження.

## 2. Управління положенням в гібридних крокових двигунах.

За допомогою перетворювача сигналу чи датчика можна спостерігати поведінку системи. Далі поведінку порівнюють із необхідним значенням цієї змінної, і помилка чи різниця надсилається до контролера, який направляє привід, щоб зменшити помилку.

Для управління положенням гібридного крокового двигуна використовується польовий метод управління (FOC). FOC працює таким чином, що він змінює електричні сигнали з однієї координати на іншу. Ці сигнали перетворюються з опорного кадру, пов'язаного з фазами статора, до обертової рамки, пов'язаної з ротором, для управління точно генерованим крутним моментом, оскільки він підключений до струму в одній з осей нового кадру.

FOC контролює крутний момент двигуна, контролюючи його швидкість і положення. Цей спосіб забезпечує точну реакцію, близьку до приводу двигунів постійного струму. FOC працює безперебійно і має дуже швидку минушу реакцію. Цей метод управління ефективно застосовується для крокових двигунів.

Відповідно до [4], паркове перетворення використовується для перетворення електричної моделі з кадру  $a$  і  $b$  в кадр  $d$  і  $q$ . Нова трансформована електрична модель задана формулами (6) та (7).

$$L \frac{di_d}{dt} = -Ri_d + PLi_q\omega_m + u_d \quad (6)$$

$$L \frac{di_q}{dt} = -Ri_q - PLi_d\omega_m + u_q - k_m\omega_m \quad (7)$$

Як видно з (4) і (5) струмів і з'єднаних між собою [4] запропоновано метод їх роз'єднання, нова електрична роз'єднана і лінійна система задана формулами (6) і (7)

$$L \frac{di_d}{dt} = -Ri_d + u_d^{un} \quad (8)$$

$$L \frac{di_q}{dt} = -Ri_q + u_q^{un} \quad (9)$$

Для досягнення цього роз'єднання система електроприводу додає кількості  $u_d^{dec}$  та  $u_q^{dec}$  до потрібних  $u_d^{un}$  та  $u_q^{un}$ . Рівняння цих двох величин задаються формулами (10) та (11).

$$u_d^{dec} = -LP\omega_m i_q \quad (10)$$

$$u_q^{dec} = LP\omega_m i_d + K_m\omega_m \quad (11)$$

Для управління багатоприводними системами широко використовується нечітка логіка. Нечіткі логічні контролери нелінійні, але дуже поширений у використанні в програмах управління через свою простоту. Також використання нечіткої логічної моделі управління має сприяти зменшенню наслідків порушень, таких як люфт.

Для досягнення поставленої мети необхідно розглянути ряд питань. Перш за все,

слід розглянути модель об'єкта (кроковий двигун, пружні елементи та люфт), виявити фактори, що впливають на помилку позиціонування. На наступному етапі необхідно розробити нечітку структуру регулятора, визначити умови змінних вхідних та вихідних даних, сформулювати базу правил для нечіткого висновку.

Рівняння простору стану для двофазного крокового двигуна з полюсами  $P$  ротора та двома фазами  $\phi_j$  при  $\theta$  та  $(\pi / 2)$  можуть бути отримані наступні рівняння простору стану [3, 4].

$$\begin{aligned} \frac{d\theta}{dt} &= \omega, \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{K_m}{J_m} (-i_a \sin P\theta + i_b \cos P\theta) - \frac{F}{J_m} \omega - \frac{T_L}{J_m}, \\ \frac{di_a}{dt} &= -\frac{R}{L} i_a + \frac{K_m}{L} \omega \sin P\theta + \frac{u_a}{L}, \\ \frac{di_b}{dt} &= -\frac{R}{L} i_b - \frac{K_m}{L} \omega \cos P\theta - \frac{u_b}{L}, \end{aligned} \quad (12)$$

де,  $\omega$  - кутова швидкість,  $d\omega / dt$  - прискорення навантаження,  $d_{(ia)} / dt$  - струм через обмотку а,  $d_{(ib)} / dt$  - струм через обмотку. Рівняння, що описують пружну деформацію елементів каркасного будівництва, можна визначити як

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_L}{dt} &= \omega_L, \\ \frac{d\omega_L}{dt} &= \frac{1}{J_L} [(-K(\theta_L - \theta_m) - B(\omega_L - \omega_m))]. \end{aligned} \quad (13)$$

Люфт - термін в механіці, що означає вільний запуск елемента механічної системи. Люфт можна описати як нелінійне посилення форми:

$$y(x) = \begin{cases} k \cdot (x + b) & \text{if } \dot{x} < 0 \\ k \cdot (x - b) & \text{if } \dot{x} > 0 \end{cases}. \quad (14)$$

Нечіткий контролер дозволяє адаптувати параметри контролера до зміни характеристик об'єкта. Запропоновано структуру адаптивного PID-регулятора, коефіцієнти якого вибираються на основі нечіткого висновку з аналізу двох вхідних величин: нормалізованої миттєвої квадратичної помилки  $\delta^2 \in (-1; 1)$ , відповідної мовної змінної  $E = \{L, M, H\}$  і швидкість навантаження  $\delta' \in S = \{L, M, H\}$ . Вихідні величини - це коефіцієнти пропорційного  $K_p$ , інтегрального  $K_i$  та диференціальних компонентів  $K_d$  регулятора. Кожна вихідна мовна змінна приймає значення  $\{1, 2, 3\}$ , відповідні малим, середнім та високим значенням коефіцієнтів. Межі зміни коефіцієнтів, при яких забезпечується стійкість закритої системи, визначаються методом комп'ютерного моделювання. За допомогою нечіткості числові значення вхідних змінних системи нечітких висновків встановлюються відповідно до значень функції належності відповідних мовних змінних, що відповідають їм. Відповідна модель комп'ютера в програмному пакеті Simulink показана на рис. 2.

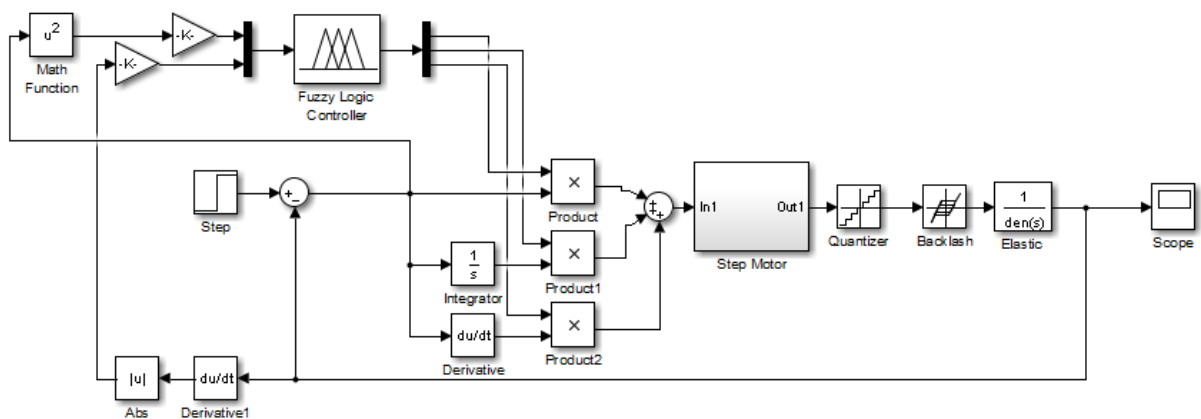


Рис. 2. Структурна схема моделі нечіткого PID-контролера крокового двигуна

Система умовиводу базується на моделі Мамдані. Було встановлено, що і Гаусівський і трикутний MF мають однакові результати. Функції, сформовані для нечіткої моделі пропорційної кількості  $K_p$ , показані на рис. 3.

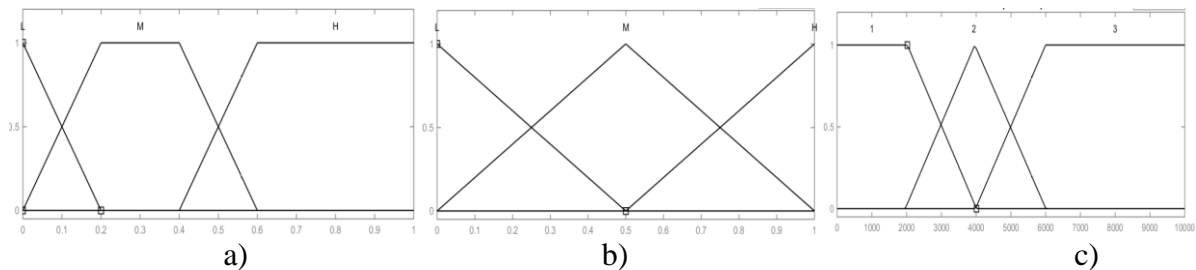


Рис. 3 Функції, згенеровані для нечіткої моделі of  $K_p$ : a - input E, b - input S, c - output  $K_p$ .

Основа правил визначення пропорційної кількості  $K_p$  представлена в таблиці 1.

Таблиця 1

$\begin{matrix} E \\ S \end{matrix}$	L	M	H
L	3	1	1
M	2	2	1
H	3	2	1

Отриманий нечіткий контролер дозволяє виправляти помилки позиціонування робочого органу установки каркасної конструкції. Надалі отриманий регулятор слід дослідити методами комп'ютерного моделювання з метою визначення оптимальних параметрів з точки зору точності переміщення робочого інструменту.

### Висновки.

Для досягнення бажаного положення були використані деякі найбільш ефективні методи управління кроковим двигуном. Один з них - польовий контроль. Також описана техніка управління за допомогою нечіткої логіки, використання якої може запобігти люфту кареток на положенні каркаса установки.

## Література

1. Кузнєцов Ю.М., Дмитрієв Д.О., Діневич Г.Ю. Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури/ Під ред. Ю.М. Кузнєцова. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.
2. Ревенко С.В. Компьютеризированная система управления многоприводной каркасной установкой / С.В. Ревенко, А.В. Рудакова, А.А. Омельчук // Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої дню космонавтики, 12 квітня 2017 р., м. Херсон, С. 216-218.
3. Пат. 66672 Україна, МПК: B23B 39/00, B23Q 1/00. Свердлильно-фрезерний верстат / Дмитрієв Д.О., Фіранський В.Б., Кузнєцов Ю.М. - u201108142; заявл. 29.06.2011; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1, 2012 р. – 15 с.
4. Гриньов Б.В. Аналітична геометрія : підручник для вищ. техніч. навч. закладів / Б.В. Гриньов, І.К. Кириченко. - Харків : Гімназія, 2008. - 340 с.
5. Brinker, R.C. and Minnick, R. 12. Trilateration // The Surveying Handbook. – Chapman & Hall, 1995. – 967 p.
6. A. Morar, “Stepper motor model for dynamic simulation”, University of Targue-Mures, vol. 44, no. 2, pp. 117- 122, June 2003.
7. K. M. Le, H. Van Hoang and J. W. Jeon, “An Advanced ClosedLoop Control to Improve the Performance of Hybrid Stepper Motors”, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 32, no. 9, pp. 7244-7255, Sep. 2017
8. M. Aydin, “Stepper Motors”, Lecture Notes, Kocaeli University Mechatronics Engineering Department , May 2017.
9. Elsodany N.M. Adaptive PID control of a stepper motor driving a flexible rotor / N.M. Elsodany, S.F. Rezek, N.A. Maharem // Alexandria Engineering Journal (2011) 50, P. 127–136.



## МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ЖИВЛЕННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ЗІ ЗМЕНШЕНИМ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ

*У роботі використана методика технології переривань та режимів енергозбереження мікроконтролерів. Проведено аналіз та порівняння джерел живлення. Розроблено технологію енергозбереження для збільшення часу автономної роботи мікроконтролерів. Розроблено новий комбінований механізм збереження енергії мікроконтролера на основі використання режимів енергозбереження та технології переривань. Розроблений механізм енергозбереження є універсальним і може бути застосований для збільшення часу автономної роботи в різних мікропроцесорних системах.*

*Ключові слова:* МІКРОКОНТРОЛЕР, СИСТЕМА, РЕЖИМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ПЕРЕРИВАННЯ, ЕЛЕМЕНТ ЖИВЛЕННЯ.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день час мікроконтролери все частіше застосовуються в системах управління, діагностики і обробки даних. Мікроконтролери здатні виконувати широкий спектр завдань та є найбільш масовим пристроєм сучасної мікропроцесорної техніки. Щорічний обсяг виробництва становить понад 3,7 млрд. Маючи пам'ять, набір периферійних схем і високопродуктивний процесор, МК дозволяють реалізувати високоефективні системи і пристрої управління за мінімальних витрат. Завдяки цим якостям мікроконтролери отримали широке застосування в таких областях: контрольно-вимірювальних приладах і системах, системах промислової автоматики, системах моніторингу сільського господарства, апаратурі зв'язку, автомобільної електроніці, медичному обладнанні, вимірювальних станціях, побутовій техніці і багатьох інших. За допомогою універсальних мікроконтролерів можливо зробити як один з перерахованих вище приладів, так і принципово новий прилад. На сьогоднішній день проблема автономності систем є однією з найважливіших в різних сферах де використовуються мікропроцесорні системи. Проблема полягає в тому що, хоч система і не потребує постійної роботи, а тільки коли спрацьовує запит, в режимі очікування цього запиту система продовжує споживати енергію. Як наслідок більше споживання енергії, що в свою чергу веде до зменшення часу автономної роботи і потреба в постійній заміні елементів живлення. Тому виникає необхідність створити механізм енергозбереження який здатний значно подовжити час автономної роботи системи. Питання про альтернативні режими енергозбереження мікроконтролерів, що здатні значно подовжити час автономної роботи, не збільшуючи при цьому розмір приладу та джерел живлення, стоїть дуже гостро. Тим паче, що більше споживання енергії веде до швидкого зношення елементів живлення, що в свою чергу потреба у швидкій утилізації. А підприємств, які належним чином можуть утилізувати елементи живлення, в Україні немає.

Час автономної роботи мікропроцесорних систем залежить від наступних чинників:

- елемент живлення мікропроцесорної системи;
- апаратна складова мікропроцесорної системи;
- складова програмного забезпечення мікропроцесорної системи.

На сьогоднішній день основними елементами живлення портативних мікропроцесорних систем та пристроїв є батареї та акумулятори. Елементи живлення суттєво впливають на роботу споживача живлення.

Акумулятори і батареї відносяться до хімічних джерел струму – пристроїв, в якому хімічна енергія безпосередньо перетворюється в електричну в процесі протікання хімічної реакції між речовиною окислювачем і речовиною відновником [1, 2, 5].

В даний час ХДС використовують у всіх областях техніки і народного господарства. Кількість елементів і акумуляторів, що виготовляються щорічно у всьому світі, обчислюється мільярдами. При одночасному їх включенні можна було б отримати електричну потужність, порівнянну з потужністю всіх електростанцій світу.

За принципами роботи ХДС поділяють на три групи: первинні, вторинні і паливні елементи.

На відміну від акумуляторів, всі батареї не перезаряджаються і підлягають утилізації після того, як вони виробили свій ресурс. Завдяки використанню акумуляторів можна зменшити забруднення хімічними джерелами живлення навколишнього середовища України.

Акумулятори (вторинні ХДС). Акумулятори – джерела струму, в яких хімічні процеси є оборотними. Акумулятори, на відміну від батарейок, можна перезаряджати за допомогою зарядних пристроїв. Для акумуляторів число циклів заряд-розряд в середньому становить 1000 циклів. Ємність акумуляторів зазвичай вимірюють в ампер-годинах.

Тривалість роботи акумулятора можна підрахувати за формулою:

$$T_{\text{ч}} = \frac{C_{\text{мА}\cdot\text{ч}}}{I_{\text{мА}}} \quad (1)$$

де  $C$  – ємність акумулятора (мА·ч);  $I$  – струм (мА).

Різні типи акумуляторів мають відмінності за основними параметрами: кількістю циклів перезарядки, максимального терміну зберігання, ємності, розмірами, температурному діапазону роботи, можливостям прискореної зарядки і характеризуються різною вартістю. Характеристики акумулятора залежать від матеріалу електродів і складу електроліту.

В даний час існує більше двох десятків типів акумуляторів, найбільш поширені акумулятори наступні, нікель-кадмієві (NiCd), нікель-метал-гидридні (NiMH), літій-іонні (Li-ion), характеристики яких наведені в табл. 1.

Таблиця 1 - Переваги та недоліки елементів живлення

Тип акумулятора	Переваги	Недоліки
Нікель-кадмієві акумулятори (NiCd)	1. Низька вартість 2. Довговічність	1. Містять в своєму складі токсичний кадмій 2. Негативно переживають перерозряд.
Нікель-метал-гидридні акумулятори (NiMH)	1. Не містять кадмію 2. Велика питома ємність	1. Падіння ємності акумулятора після 200-300 циклів 2. Більший струм саморозряду
Літій-іонні акумулятори (Li-ion)	1. Досить висока ємність акумулятора 2. Відносно не висока вартість	1. Схильні до старіння (стають непридатними якщо ними не користуються)

В результаті пошуків найкращого елементу живлення портативних мікропроцесорних систем, було виявлено що найкращий елемент живлення саме літій-

іонний акумулятор (рис. 1). Головна перевага літій-іонних акумуляторів полягає у високій питомій ємності (щонайменше в два рази більшою, ніж у інших акумуляторів). Літій-іонні акумулятори: мають відносно низький саморозряд, не токсичні, відносно дешеві, та є одними з найбільш простих в утилізації видів акумуляторів.

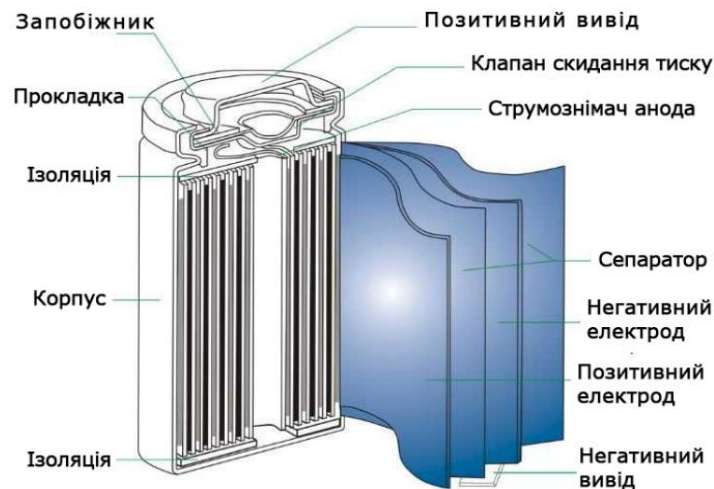


Рис. 1 - Структура літій-іонного (Li-ion) акумулятора

Отже для досягнення більшої автономності тип елементу живлення має дуже важливе значення. Головна перевага літій-іонних акумуляторів полягає у високій питомій ємності (щонайменше в два рази більшою, ніж у нікель-кадмієвих акумуляторів). Літій-іонні акумулятори мають відносно низький саморозряд і завдяки своїм перевагам підходять для живлення найбільше. Але щоб збільшити час автономної роботи мікроконтролера лише використання літій-іонних акумуляторів буде замало. Для того щоб значно подовжити роботу системи треба застосувати правильний енергозберігаючий режим для самої системи. Правильно підібраний елемент живлення і налагоджена робота мікропроцесорної системи – запорука тривалої та стабільної роботи системи. Для проведення повноцінного аналізу роботи мікроконтролера необхідно змодельовати на її основі мікропроцесорну систему. Для моделювання і реалізації мікропроцесорної системи було обрано напрям домашніх метеостанцій. Структурну схему мікропроцесорної метеостанції наведено на рис. 2.

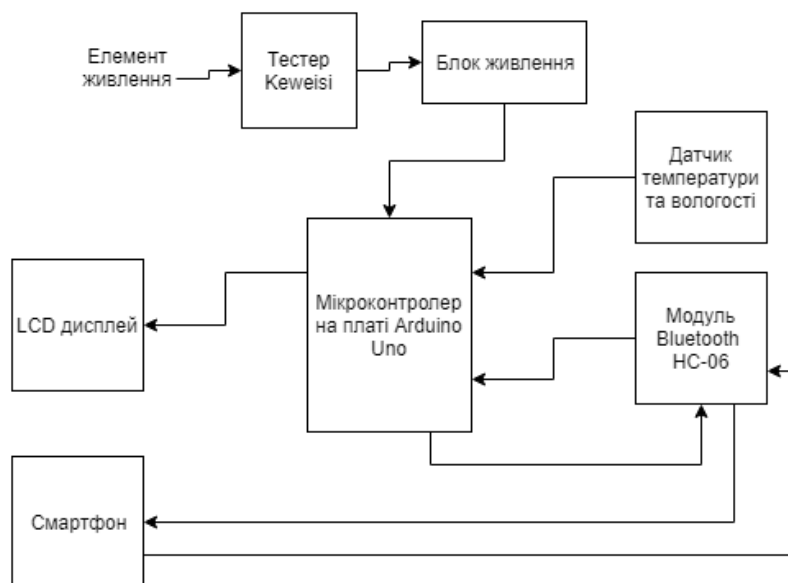


Рис. 2 – Структурна схема мікропроцесорної метеостанції

Перед тим як переходити до реалізації та збірки мікропроцесорної системи буде технічно правильним спочатку змодельювати її. Для моделювання мікропроцесорної системи використовувалась САПР Proteus [4, 5]. Відмінною рисою пакета Proteus є можливість моделювання роботи програмованих пристроїв: мікроконтролерів, мікропроцесорів, DSP і ін. Причому в Proteus повністю реалізована концепція наскрізного проектування, коли змінюється щось в логічній частині роботи схемотехніки, програмний пакет тут же «підхоплює» дані зміни в системі трасування. Бібліотека компонентів містить довідкові дані, що є досить зручним у використанні. Для моделювання мікропроцесорної системи до середовища Proteus були завантажені наступні бібліотеки [5]: Arduino Uno, DTH11, Wireless Bluetooth HC-06. Змодельована мікропроцесорна система у середовищі автоматизованого проектування виглядає як показано на рис. 3.

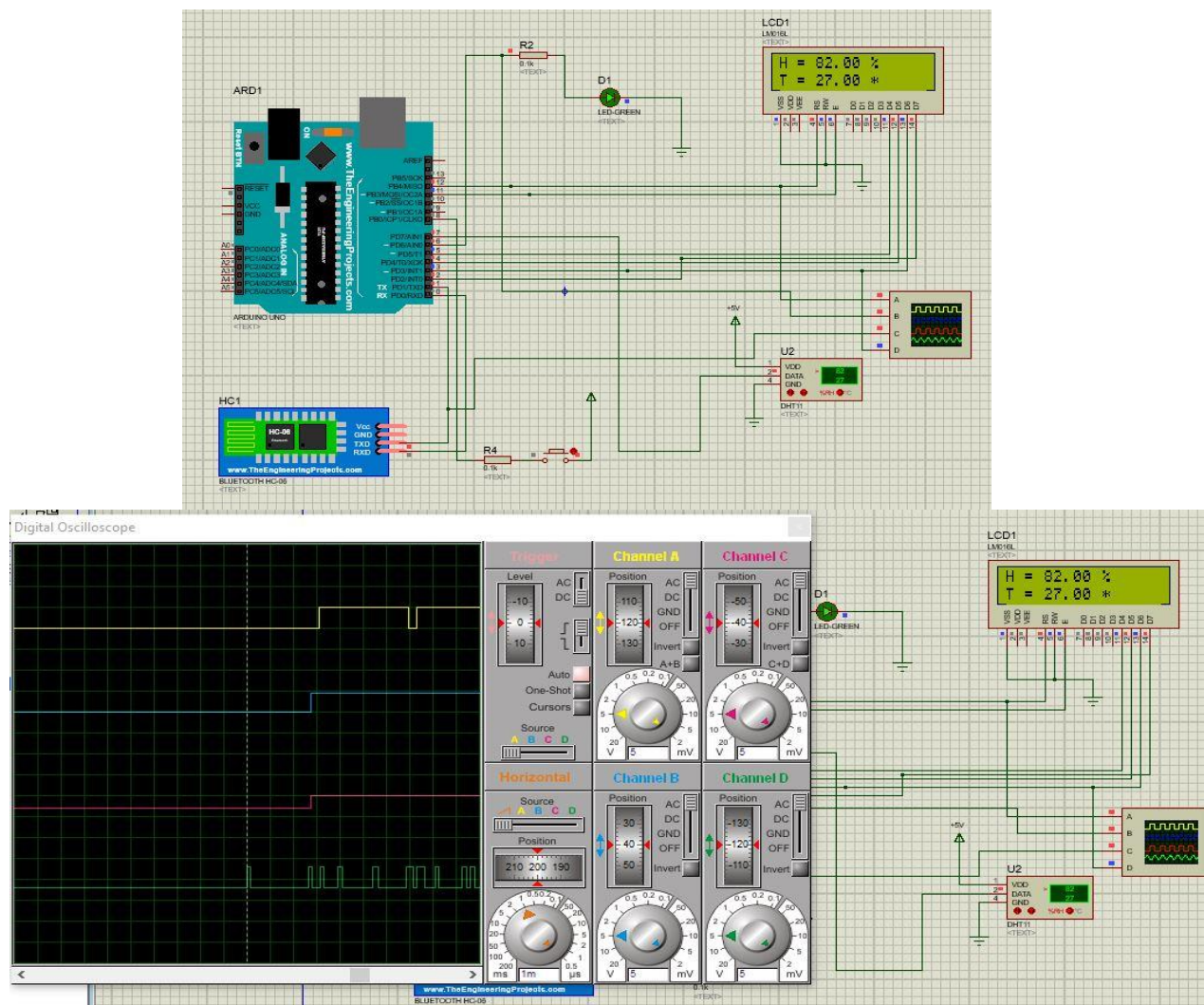


Рис. 3 – Симуляція роботи системи дистанційного моніторингу з виведенням показників осцилографа у середовищі Proteus 8.0

Після визначення основних складових модулів та пристроїв було складено структурну схему приладу та просимульовано в середовищі Proteus. Отже, можна перейти до складання мікропроцесорної системи. Якісні та функціональні метеостанції досить дорого коштують. Розроблена мікропроцесорна система складатиметься з відносно дешевих модулів та є дуже простою у використанні [6-9]. У зібраному вигляді мікропроцесорна метеостанція має вигляд як показано на рис. 4.

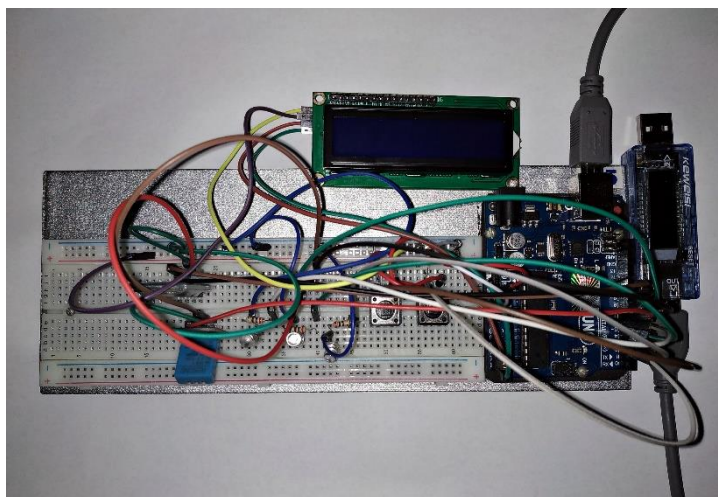


Рис. 4 – Мікропроцесорна метеостанція в складеному стані

Після запуску мікропроцесорної метеостанції було з'ясовано, що струм споживання в звичайному режимі складає 0,16 А.

Знаючи струм споживання та ємність елементу живлення (850 мАг) можна підрахувати приблизний час роботи мікропроцесорної системи за формулою:

$$T_{\Gamma} = \frac{C_{\text{мАг}}}{I_{\text{мА}} * n} \quad (2)$$

де С – ємність акумулятора (мА·г); І – струм (мА); n – експонента Пекерта ( $n \approx 1,12$ ).

Отже приблизний час роботи приладу:

$$T_{\Gamma} = \frac{0.85_{\text{А*г}}}{0.16 * n} = \frac{0.85_{\text{А*г}}}{0.16 * 1.12} \approx 4,8 \text{ г}$$

Підрахувавши приблизний час роботи мікропроцесорної системи, можна перейти до дослідження роботи в звичайному режимі. Суть дослідження полягає в наступному: система працюватиме в стандартному режимі і час, за який мікропроцесорна система розрядить елемент живлення, буде основоположним показником і відправною точкою для подальших дослідів. До мікропроцесорної метеостанції декілька разів за тестування приєднувався смартфон, що дозволяє імітувати повсякденний режим роботи приладу. Кожної години необхідно знімати показники з тестера: силу струму та спожиту ємність акумулятора. На основі аналізу роботи мікропроцесорної системи можна відтворити діаграму роботи приладу. Після того, як елемент живлення розрядиться, необхідно перевіряти загальні показники для подальшого аналізу та висновків.

Кожної години занотовувались показники струму та енергоспоживання. Після того, як прилад розрядив елемент живлення тестування припиняється. Занотовані показники показані в табл. 2. В середньому сила струму за перший тест змінювалась на  $\pm 0,01$  А. Таким чином можна вважати, що середній показник споживання струму мікропроцесорної метеостанції дорівнює  $\approx 0,16$  А.

На той момент, як мікропроцесорна система розрядила елемент живлення, тестер показував час «05:01». Тобто час автономної роботи метеостанції в стандартному режимі роботи приладу склав 5 годин 1 хвилину. Цей час є основоположним для подальших дослідів роботи приладу та режимів енергозбереження.

Таблиця 2 – Результати дослідження режиму енергозбереження

Режим роботи мікропроцесорної системи	Сила струму	Час роботи мікропроцесорної системи	Спожита ємність елементу живлення
Звичайний режим	0,16 А	5 годин	806 мАг
Режим енергозбереження «Power Down»	0,10 А ↓	7 годин 40 хвилин ↑	804 мАг

Завдяки аналізу роботи приладу в кожному з режимів, можна обрати найбільш енергозберігаючий та продумати механізм, який дозволить покращити інтегровані режими роботи для збільшення часу автономної роботи приладу.

Для початку необхідно модифікувати програмний код, та додати ще одну кнопку та світлодіод. Після цього необхідно ще раз розглянути інтегровані режими енергозбереження мікроконтролера ATmega328. Їх шість:

- Idle;
- ADC – Noise Reduction Mode;
- Standby;
- Extended Standby;
- Power save;
- Power down.

Для перевірки кожного з режимів необхідно додати до програмного коду за допомогою команди `#include` наступні бібліотеки:

- `avr/sleep.h`;
- `avr/power.h`;
- `avr/interrupt.h`.

Також необхідно створити дві функції:

- `m_wake_up`, що повертає мікропроцесорну систему в звичайний режим роботи;
- `m_sleep`, що переводить мікропроцесорну систему в необхідний режим енергозбереження.

Встановлювання режиму енергозбереження задається командою

– «`set_sleep_mode (РЕЖИМ);`».

Кожен з режимів енергозбереження задається наступним чином:

- «`set_sleep_mode (SLEEP_MODE_IDLE);`»;
- «`set_sleep_mode (SLEEP_MODE_ADC);`»;
- «`set_sleep_mode (SLEEP_MODE_STANDBY);`»;
- «`set_sleep_mode (SLEEP_MODE_EXT_STANDBY);`»;
- «`set_sleep_mode (SLEEP_MODE_PWR_SAVE);`»;
- «`set_sleep_mode (SLEEP_MODE_PWR_DOWN);`».

Для впровадження даних режимів було модифіковано програмний код. Після тестування мікропроцесорної системи з усіма режимами енергозбереження виявилось, що найбільш ефективним режимом виявився Power Down.

Загалом результат повністю виправдовує дослідження. В порівнянні з початковим часом роботи мікропроцесорної системи 5 годин, час автономної роботи збільшився на 2 години 40 хвилин. Сила споживання струму також зменшилась на 0,06 А, що в свою чергу сприяло збільшенню часу автономної роботи. Порівняльну діаграму енергоспоживання мікропроцесорної системи в звичайному режимі роботи та в енергозберігаючому режимі «Power Down» наведено на рис. 6.



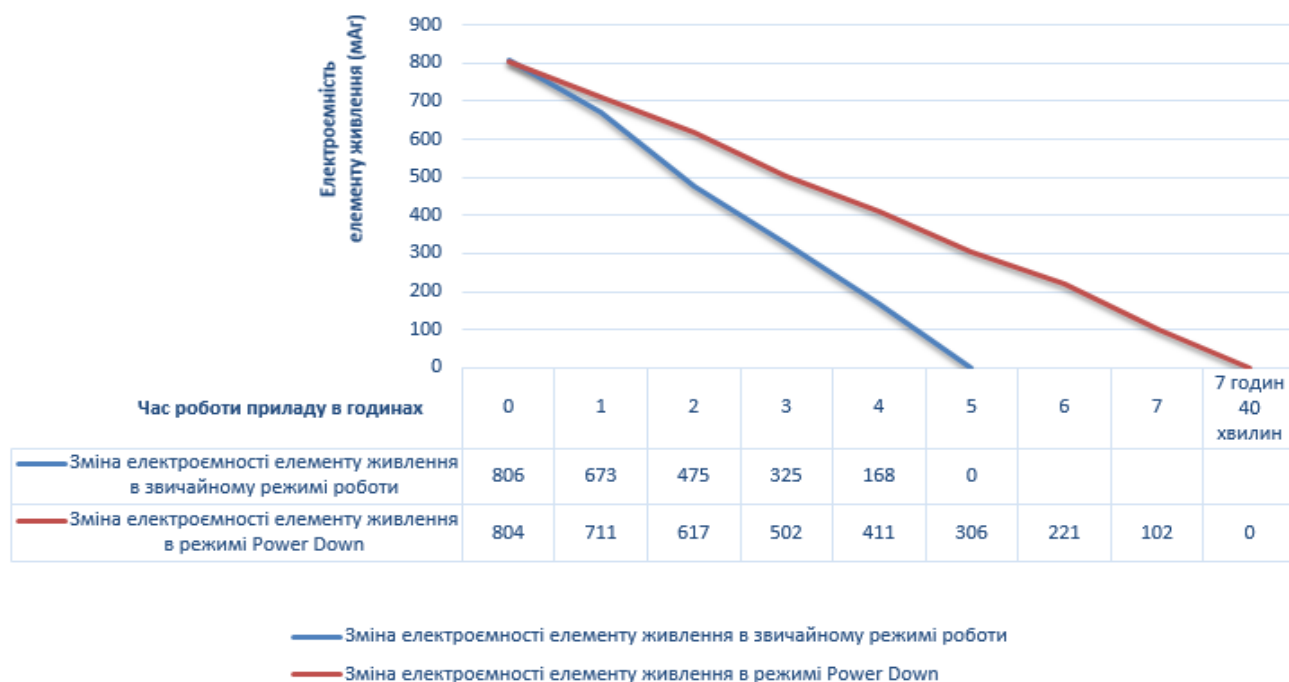


Рис. 5 – Порівняльна діаграма енергоспоживання

З урахування чинників, які необхідно застосувати до мікропроцесорної системи для створення комбінованого механізму енергозбереження, необхідно додати декілька правок до програмного коду. Тестування автономності проводилося за тих самих умов, що і попередні дослід. Дослідження тривало до того моменту, як мікропроцесорна система розрядила елемент живлення. Кожних 6 годин занотовувались показники струму та енергоспоживання. Занотовані показники показані в таблиці 3. В середньому сила струму в режимі енергозбереження показувала позначку 0.02 А, і звісно зростала до 0.16 А при переході в звичайний режим роботи. Мікропроцесорна система з застосуванням комбінованого режиму енергозбереження повністю розрядила елемент живлення за 39 годин 50 хвилин. Одразу зрозуміло, що мікропроцесорна система у комбінованому режимі працює на багато разів довше.

Таблиця 3 – Комбінований режим енергозбереження

Години дослідження	Сила струму (А)	Спожита ємність елементу живлення (мАг)
6 година	0.02	130
12 година	0.02	251
18 година	0.02	368
24 година	0.02	486
30 година	0.02	589
36 година	0.02	740
39 годин	0.02	802
50 хвилин	0	

В порівнянні роботою мікропроцесорної системи в режимі енергозбереження «Power Down», час автономної роботи приладу збільшився на 32 години 10 хвилин, а з звичайним режимом роботи взагалі на 34 години 50 хвилин. Для порівняння ефективності використання механізмів енергозбереження показники зведено в таблицю 4.

Таблиця 4 – Порівняння режимів роботи

Режим роботи мікропроцесорної системи	Сила струму	Час роботи мікропроцесорної системи	Спожита ємність елемента живлення
Звичайний режим роботи системи	0.16 А	5 годин	806 мАг
Режим енергозбереження «Power Down»	0.10 А	7 годин 40 хвилин	804 мАг
Комбінований механізм енергозбереження	0.02 А ↓	39 годин 50 хвилин ↑	802 мАг

Порівняльну діаграму споживання струму в трьох режимах роботи мікропроцесорної системи наведено на рис. 6.



Рис. 6 – Порівняльна діаграма споживання струму

Порівняльну діаграму енергоспоживання мікропроцесорної метеостанції в звичайному режимі роботи, в енергозберігаючому режимі «Power Down», та в комбінованому режимі енергозбереження можна побачити на рис. 7.



Рис. 7 – Порівняльна діаграма енергоспоживання в різних режимах роботи



**Висновки.** В результаті проведеного порівняння джерел живлення показано, що літій-іонні акумулятори більш енергоефективні за інші джерела живлення.

Розроблено новий механізм енергозбереження мікропроцесорної системи. Нове технічне рішення збільшує час автономної роботи в 2 рази. Енергозбереження досягається завдяки використуванню технології переривань та режиму сну мікропроцесора.

Розроблений механізм енергозбереження є універсальним і може бути застосований в будь-яких автоматизованих мікропроцесорних системах – в виробничих системах, системах контролю управління доступом, системах сигналізації, системах метеостанцій і т. д.

#### **ЛІТЕРАТУРА:**

1. Лаврус В. С. Батарейки и аккумуляторы. НиТ. / В. С. Лаврус // Публикация НиТ, 1995. – 47 с.
2. Чупин Д. П. Исследования методов диагностики аккумуляторов. / Д. П. Чупин // Омский государственный технический университет, 2012. – 5 с.
3. Кривецкий, А. П. Заряд кислотных аккумуляторов / А. П. Кривецкий // Компоненты и технологии. - 2004. - № 4. -С. 15-18.
4. Гололобов В. Н. Proteus VSM / В. Н. Гололобов – издательство Labcenter Electronics Co., 2015. – 26 с.
5. Офіційна документація проекту Proteus [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.proteus.help-rus>
6. Петин В. Arduino и Raspberry Pi в проектах Internet of Things. / В. Петин – СПб.: БХВ-Петербург, 2016. – 320 с.
7. Ярнольд С. Arduino для начинающих / С. Ярнольд – издательство ЭКСМО, 2017. – 256 с.
8. Блум Д. Изучаем Arduino / Д. Блум – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 336 с. ARDUINO. Быстрый старт.: [автор не указан]. – издательство Максик, 2015. – 80 с.

## ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Відомості про авторів	Стор.
Байрак Ігор Вітальєвич – аспірант кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.	4
Баклан Ігор Всеволодович – доцент, к.т.н., доцент кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".	8, 12, 19, 35
Баклан Ярослав Ігорович – к.т.н, старший викладач кафедри «Автоматика та управління в технічних системах» Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".	12
Голубєв Леонтій Петрович – доцент, к.т.н., доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій і вимірювальної техніки, Київський національний університет технологій та дизайну.	57
Григорович Віталій Віталійович – магістр кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".	8
Дмитрюк Олег Володимирович – магістр кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".	12
Зюба Ігор Валерійович – магістр кафедри автоматики, робототехніки і мехатроніки, Херсонський національний технічний університет.	15
Каджая Володимир Миколайович – студент кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".	19
Карпенко Сергій Леонідович – аспірант кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.	23
Кондратьєва Інна Юріївна – аспірант кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.	29
Лебеденко Юрій Олександрович – доцент, к.т.н., доцент кафедри автоматики, робототехніки і мехатроніки, Херсонський національний технічний університет.	50
Логвинчук Андрій Ігорович – магістр кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".	35
Младзієвський Андрій Віталійович – магістр кафедри автоматики, робототехніки і мехатроніки, Херсонський національний технічний університет.	40
Мосур Іван Вікторович – аспірант кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету	57

Відомості про авторів	Стор.
Очеретяний Олександр Костянтинович – аспірант кафедри автоматизованих систем обробки інформації і управління Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".	8
Поливода Оксана Валеріївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматики, робототехніки і мехатроніки, Херсонський національний технічний університет.	15, 40, 45
Ревенко Сергій Володимирович – аспірант кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.	50
Рудакова Ганна Володимирівна - професор, д.т.н., професор кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.	4, 23, 39, 36,
Тоуфак Едмон Родріг – аспірант кафедри автоматики, робототехніки і мехатроніки, Херсонський національний технічний університет.	50
Шестаков Віталій Сергійович – магістр кафедри автоматики, робототехніки і мехатроніки, Херсонський національний технічний університет.	45

Наукове видання

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ  
ТЕХНОЛОГІЇ У СЬОГОДЕННІ

3

Збірка наукових праць молодих вчених (студентів, магістрів і аспірантів)

Підписано до друку 15.11.2019 р. Формат 60×84 1/8.  
Друк: різнографія. Гарнітура Times New Roman.  
Наклад 100 прим. Замовлення №191.

Видавництво ПП Вишемирський В.С.  
Свідоцтво серія ХС №48 від 14.04.2005  
видано Управлінням у справах преси та інформації  
73000, Україна, м.Херсон, вул. 40 років Жовтня, 138,  
тел. 050-514-67-88, 080-133-10-13, e-mail: printvvs@gmail.com