

Ю.В. Бабенко, С.С. Ланська

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ЗІ ЗМІННИМ ЗА СТАНОМ ЗАПІЗНЕННЯМ

Анотація. В роботі проводиться дослідження впливу параметрів динамічної системи з нелінійним запізненням. Побудовано імітаційні моделі динамічних систем та отримано їх фазові портрети і графіки поведінки розв'язку.

Ключові слова: динамічна система, нелінійне запізнення за часом, імітаційна модель.

Вступ

Чимало процесів, які супроводжують людину у повсякденному житті характеризуються наявністю запізнень у часі. Запізнення може мати різну природу походження: інерційність деяких елементів системи, обмеження на протікання технологічного або хімічного процесу, тощо. Переважно дослідники ці процеси моделюють за допомогою систем диференціальних без запізнення в часі, оскільки вважають вплив запізнення нульовим або таким, яким можна знехтувати, а тому розглядають систему за ідеальних умов. Тим не менше, нехтування запізненням може мати суттєвий вплив на якісну поведінку моделі та в деяких випадках призводити до суттєвих відмінностей з результатами експериментів.

Вданій роботі досліджується вплив параметрів динамічної системи на її якісну поведінку.

Постановка задачі

Метою даного дослідження є вивчення залежності поведінки розв'язків динамічних систем з нелінійним запізненням в часі за умови варіювання параметрів запізнення. Дане дослідження проведено за рахунок моделювання розв'язків динамічних систем за допомогою імітаційної моделі, побудованої в пакеті побудови імітаційних моделей AnylogicFreeRelease.

Дослідження імітаційної моделі

Використовуючи методологію системної динаміки аналітик може зрозуміти ефекти, які можуть виникнути від зовнішнього впливу та змін параметрів системи. Це дозволяє порівнювати альтернативні рішення та обирати оптимальні, що і є головною задачею аналізу. Проведемо аналіз, розглянувши проблему визначення точок рівноваги на фазовій площині та характер руху в околі точки рівноваги.

Для дослідження фазового портрету динамічних систем необхідно проаналізувати поведінку розв'язків систем з різним набором параметрів моделі, щоб переглянути, до яких атракторів збігаються отримані траєкторії.

Розглянемо більш детально декілька систем. Досліджувалися динамічні системи, що описуються диференціальними рівняннями з нелінійним запізненням. Були розглянуті наступні закони зміни запізнення: $\tau(t) = \gamma \cdot \sqrt{t + 0,01}$ та $\tau(t) = \gamma \cdot t$, з параметром γ , а також – $\tau(t) = e^{0,01 \cdot t}$.

Перша система описується наступним рівнянням

$$\begin{cases} x'(t) = b - K \cdot x(t - \tau(t)), & t > 0, \\ x(t) = \varphi(t), & t \leq 0, \end{cases} \quad (1)$$

де b та K є задані числові параметри системи, а $\tau(t)$ є нелінійним запізненням. Загальний вид створеної імітаційної моделі зображено на рисунку 1.

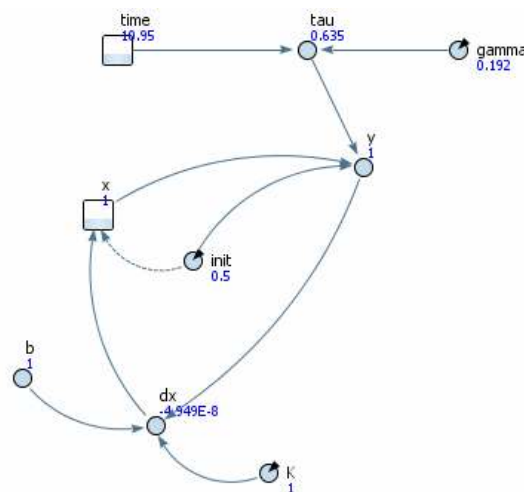


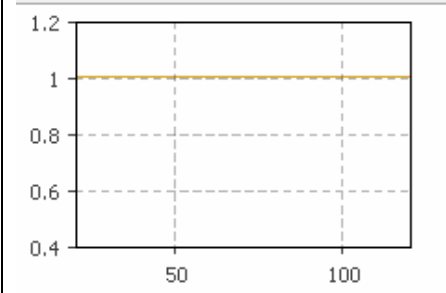
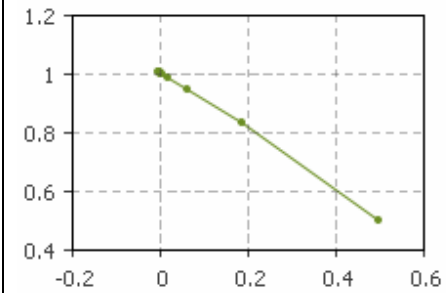
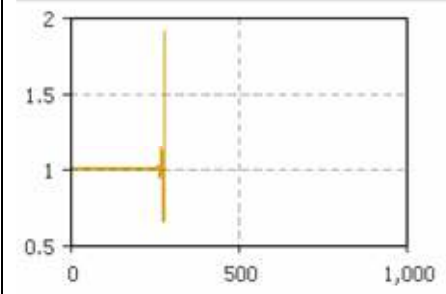
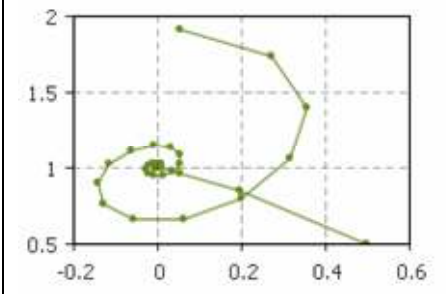
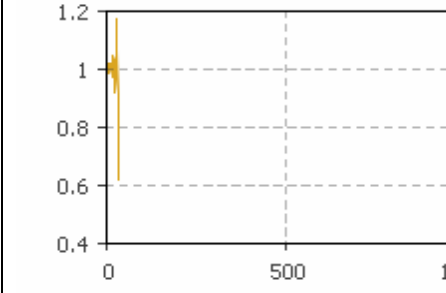
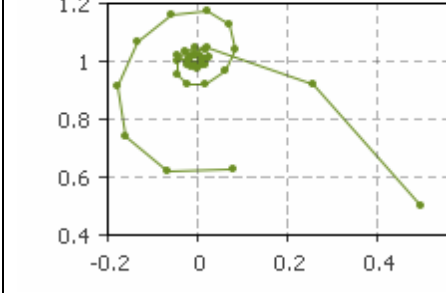
Рисунок 1 – Імітаційна модель динамічної системи (1)

Нижче наведено таблиці, що демонструють поведінку розв'язку динамічної системи (1) та його фазовий портрет при деяких значеннях параметрів γ та K . При цьому фіксованими були параметр $b = 1$ та початкова умова $x(t) = 0,5$ для $t \leq 0$.

$$1. \quad \tau(t) = \gamma \cdot \sqrt{t + 0,01} \text{ та } K = 1.$$

Таблиця 1

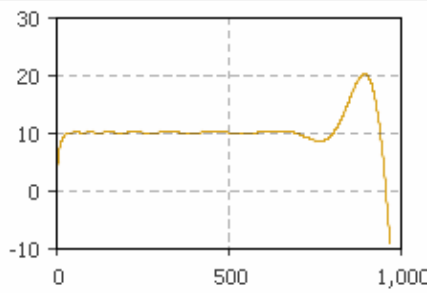
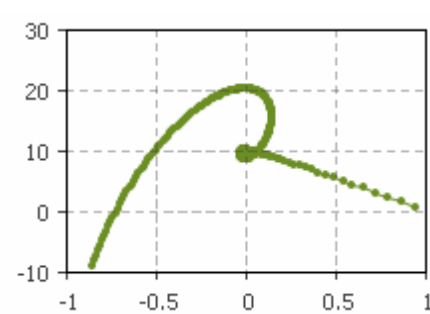
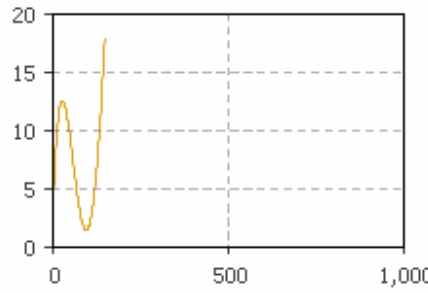
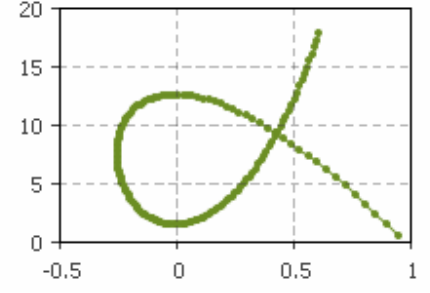
Результати тестування першої імітаційної моделі

Значення γ	Залежність $x(t)$	Фазовий портрет
$\gamma = 0,1$		
$\gamma = 0,2$		
$\gamma = 0,5$		

$$2. \quad \tau(t) = \gamma \cdot t \text{ та } K = 1.$$

Таблиця 2

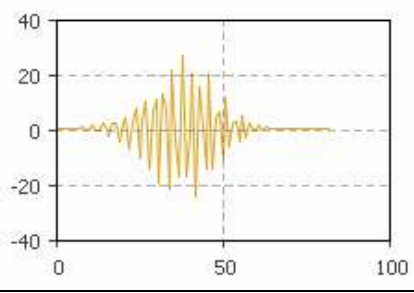
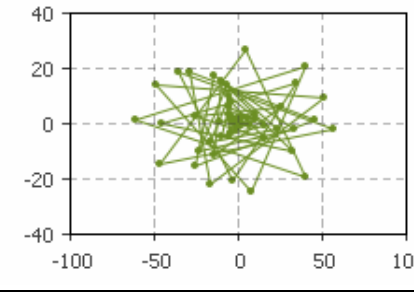
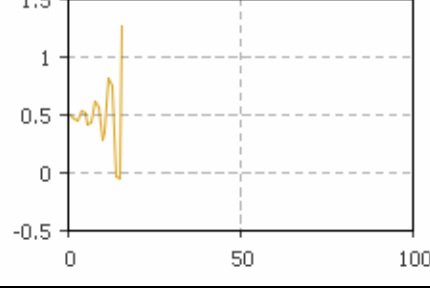
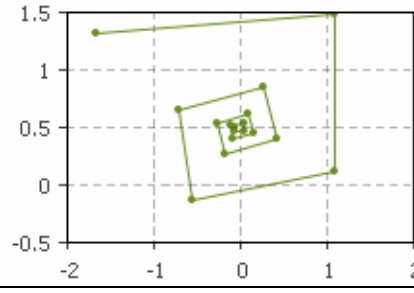
Результати тестування першої імітаційної моделі

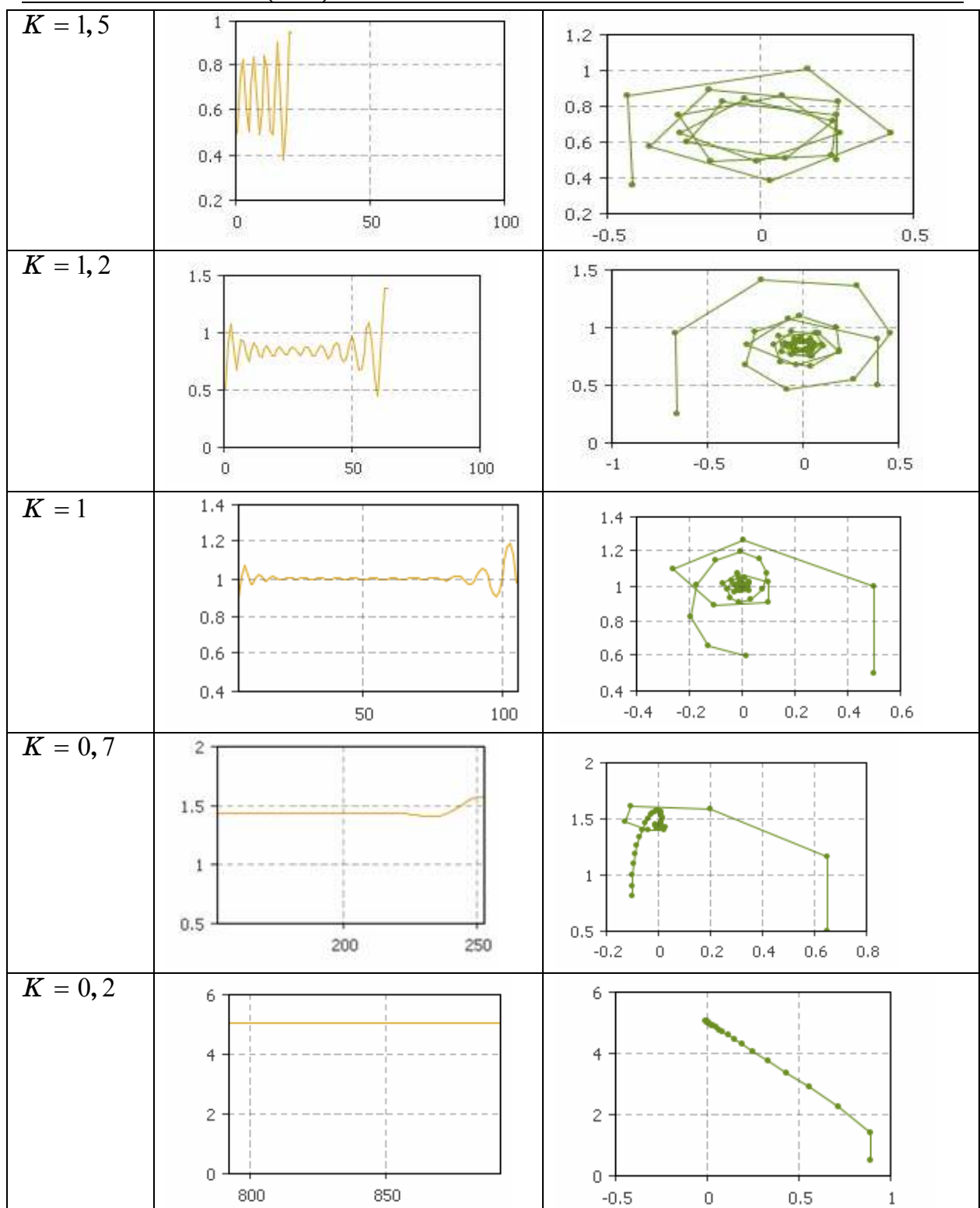
Значення γ	Залежність $x(t)$	Фазовий портрет
$\gamma = 0,1$		
$\gamma = 0,5$		

3. $\tau(t) = e^{0,01 \cdot t}$, $b = 1$ та $x(t) = 0,5$ для $t \leq 0$.

Таблиця 3

Результати тестування першої імітаційної моделі

Значення K	Залежність $x(t)$	Фазовий портрет
$K = 2,3$		
$K = 2,1$		



В якості другого прикладу розглянемо систему, яка описується диференціальним рівнянням за запізненням

$$\dot{x}(t) = \beta u(t) - \alpha x(t - \tau), t > t_0,$$

$$x(\tau) = \phi_0(\tau) \text{ при } t_0 - \tau \leq \tau \leq t_0$$

(2)

де $u(t) = 2 \cos(0.3t)$ – стан системи в момент часу t , β та α є задані числові параметри системи, $a\tau(t)$ є запізненням. Загальний вид створеної імітаційної моделі зображено на рисунку 2.

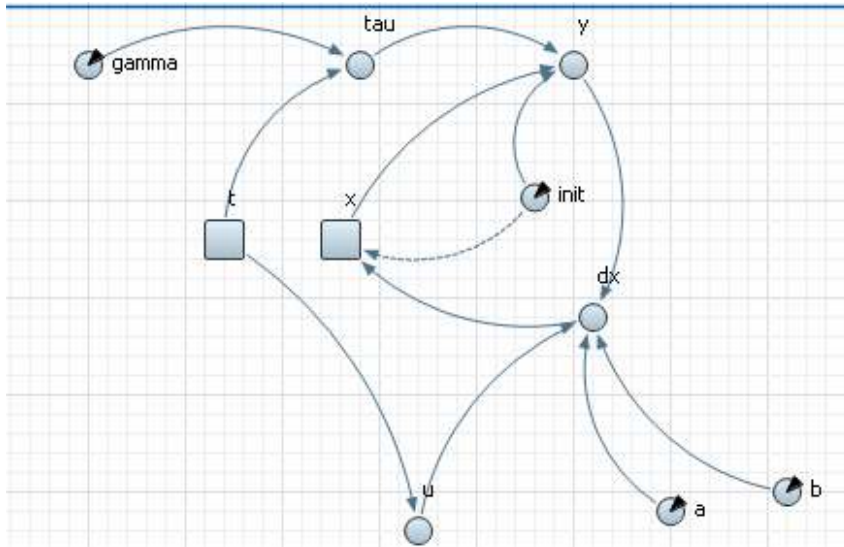


Рисунок 2 – Імітаційна модель динамічної системи (2)

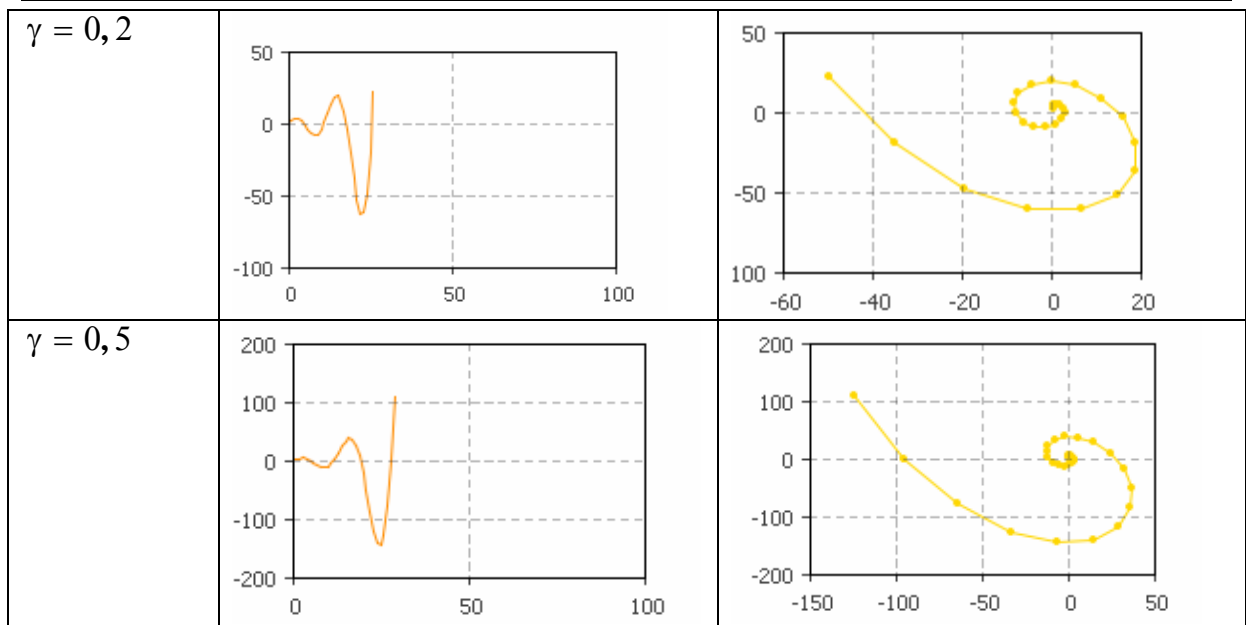
Нижче наведено таблиці, що демонструють поведінку розв'язку динамічної системи (2) та його фазовий портрет при деяких значеннях параметрів γ та K . При цьому фіксованими були параметр $\beta = 1$ та початкова умова $x(t) = 0,5$ для $t \leq 0$.

$$1. \quad \tau(t) = \gamma \cdot \sqrt{t + 0,01} \text{ та } \alpha = 1.$$

Таблиця 4

Результати тестування другої імітаційної моделі

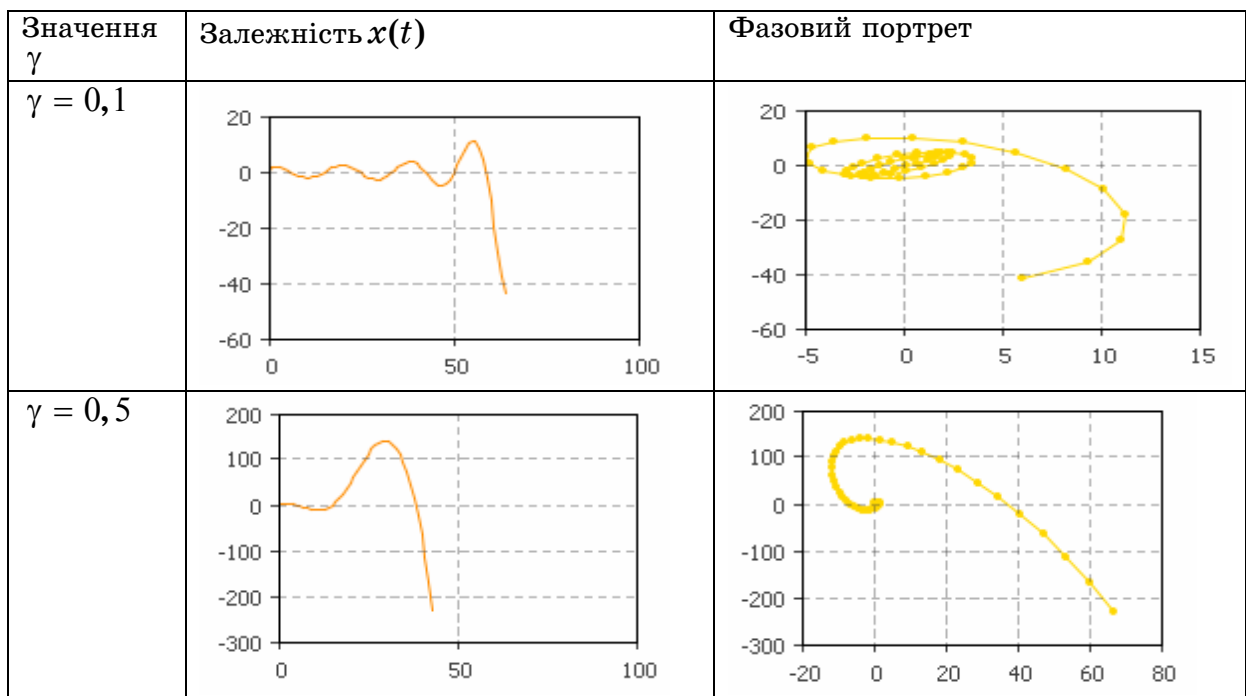
Значення γ	Залежність $x(t)$	Фазовий портрет
$\gamma = 0,1$		



2. $\tau(t) = \gamma \cdot t$ та $\alpha = 1$.

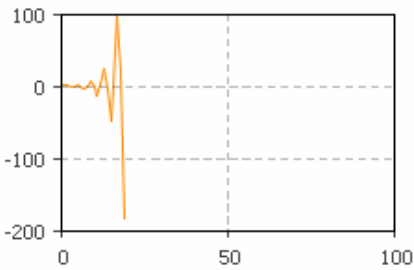
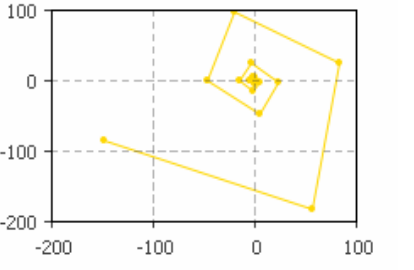
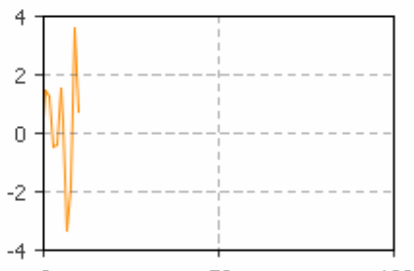
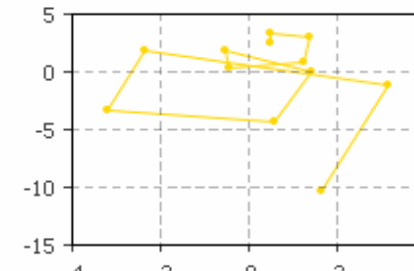
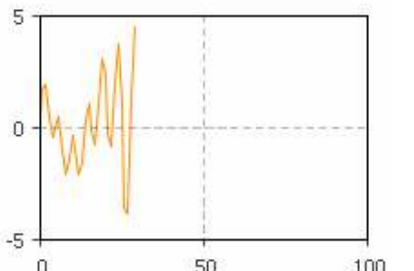
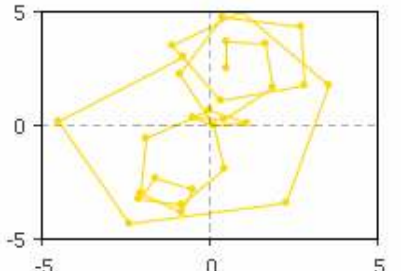
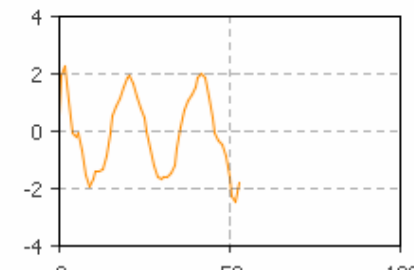
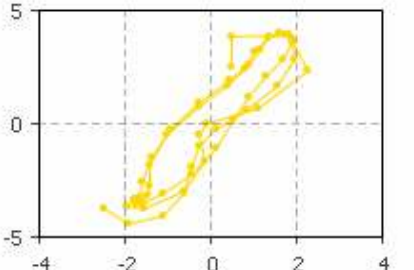
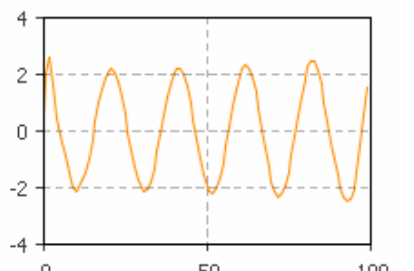
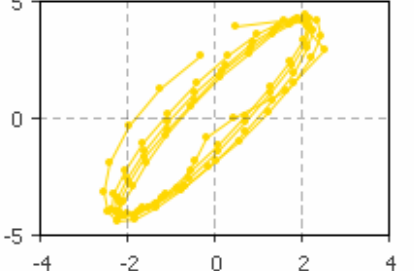
Таблиця 5

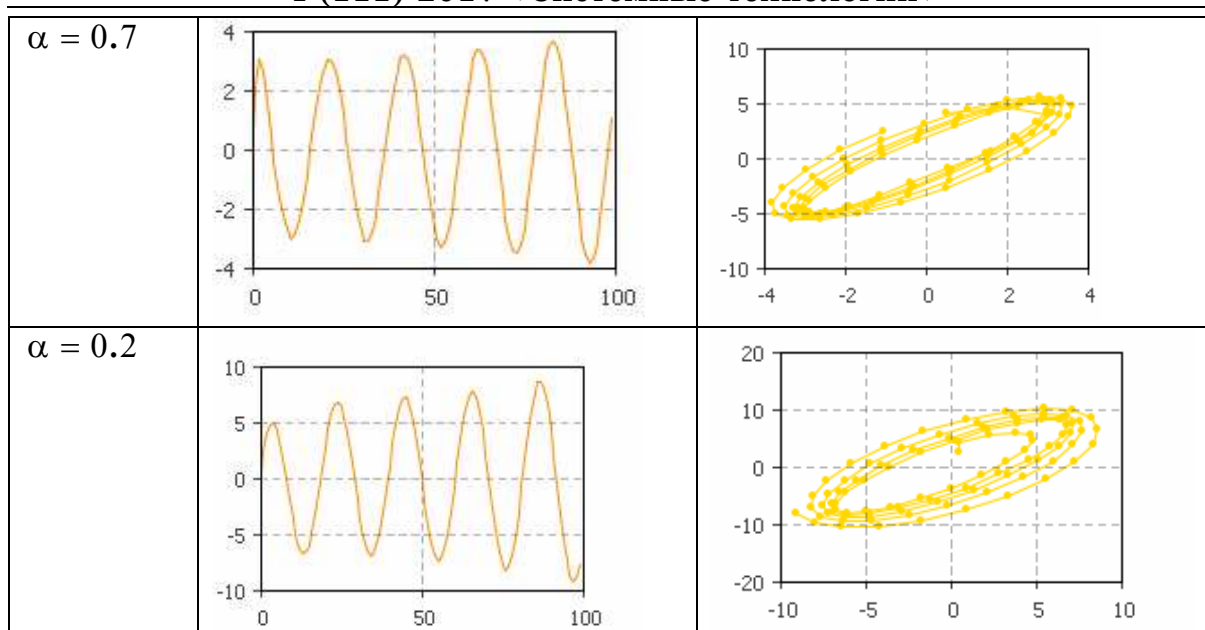
Результати тестування другої імітаційної моделі



3. $\tau(t) = e^{0,01 \cdot t}$ для $t \leq 0$.

Результати тестування другої імітаційної моделі

Значення K	Залежність $x(t)$	Фазовий портрет
$\alpha = 2.3$		
$\alpha = 2.1$		
$\alpha = 1.5$		
$\alpha = 1.2$		
$\alpha = 1$		



Висновки

В роботі розглянута поведінка розв'язків динамічної системи при 3 типах запізнення: степеневе, лінійне та експоненційне. При степеневому запізненні розв'язок динамічної системи змінює свою якісну поведінку в залежності від коефіцієнту γ від збіжності до певного фіксованого значення до осциляції з нескінченно зростаючою амплітудою. При експоненційному запізненні розв'язок динамічної системи виходить в сталий режим роботи починаючи з точки, в якій величина запізнення $\tau(t)$ зрівнюється з часом t . У випадку лінійного запізнення $\tau(t) = \gamma t$ розв'язок систем (1) та (2) розбігається.

ЛІТЕРАТУРА

1. Солодова Е.А. Новые модели в системе образования : синергетический поход /Е.А. Солодова //Москва: ЛИБРОКОМ, 2013– 342 с.,ил.
2. Солодов А.В., Солодова Е.А. Системы с переменным запаздыванием. М. Наука, 1980 – 384 с.
3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1972 - 768 с.
4. Мышкис А. Д. Общая теория дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом // Успехи математических наук. – 1949. – Т. 4. – №. 5 (33) – С. 99-141.

А.О. Журба, Д.І. Журба, О.І. Михальов, О.І. Дерев'ялко
**ДОСЛІДЖЕННЯ ФРАКТАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
СНІЖИНОК**

В статті розглядається обчислення таких фрактальних властивостей як фрактальна розмірність та побудова фрактальних розподілень сніжинок різних типів.

Ключові слова: фрактальні об'єкти, фрактальна розмірність, сніжинки, фрактальні розподілення.

Вступ

Однією з таємниць, яку мріяли розгадати багато великих вчених є вивчення снігових кристалів. Йоганн Кеплер першим почав вивчення сніжинок.

Наукове пояснення форми сніжинок з'явилося на початку ХХ століття, коли дослідження за допомогою лазерних променів показали, що атоми кисню і водню в кристалах льоду розташовуються в решітці, що складається з шестикутників [1].

Розгадка загадкової симетрії сніжинок криється в кристалічній решітці льоду. Практично весь лід на планеті кристалізується, утворюючи правильні призми з шестикутною основою. Тому шестикутна форма решітки задає шестипроменеву симетрію сніжинок.

На форму сніжинок впливає зовнішнє середовище (наприклад, вітер, температура і вологість повітря). Поки сніжинки ростуть, вони літають всередині хмари, а це значить, що вони піддаються різним впливам в різний час, в результаті чого їх форма також змінюється [1].

Як і більшість природних об'єктів, сніжинки мають фрактальні властивості. Тому є доцільним дослідження їх фрактальних характеристик.

Метою цієї роботи є дослідження фрактальної розмірності та побудова фрактальних розподілень для різних типів сніжинок.

Матеріали та методики дослідження

Будь-яка сніжинка завжди має 6 променів. Така форма зумовлена молекулярною будовою води. Вона складається з атома кисню і двох атомів водню. Кожна молекула води є трикутник. Кристали льоду мають форму шестикутника, який складається з таких трикутників (рис. 1а). Цей найперший кристалик і є майбутня сніжинка. Далі він росте за рахунок приєднання нових молекул до кристалику (рис. 1б).

Порядок приєднання нових молекул випадковий, але в підсумку вони шикуються в шестигранники, такі ж, як і перший кристалик (рис. 1в).

Далі у сніжинки почнуть рости відгалуження. Як саме вони будуть виглядати, залежить від температури, вологості, тиску та інших факторів. Кристалики приєднуються один до одного завжди гранню і ніколи кутом, тому промінь сніжинки завжди буде шестикутним (рис. 1г).

Від променя можуть відходити гілки, але вони завжди будуть рости під кутом 60° або 120° (рис. 1д).

Так має виглядати ідеальна сніжинка. У реальності величезне скупчення «гілок», які прирастають у випадковому порядку, робить кожну сніжинку унікальною.

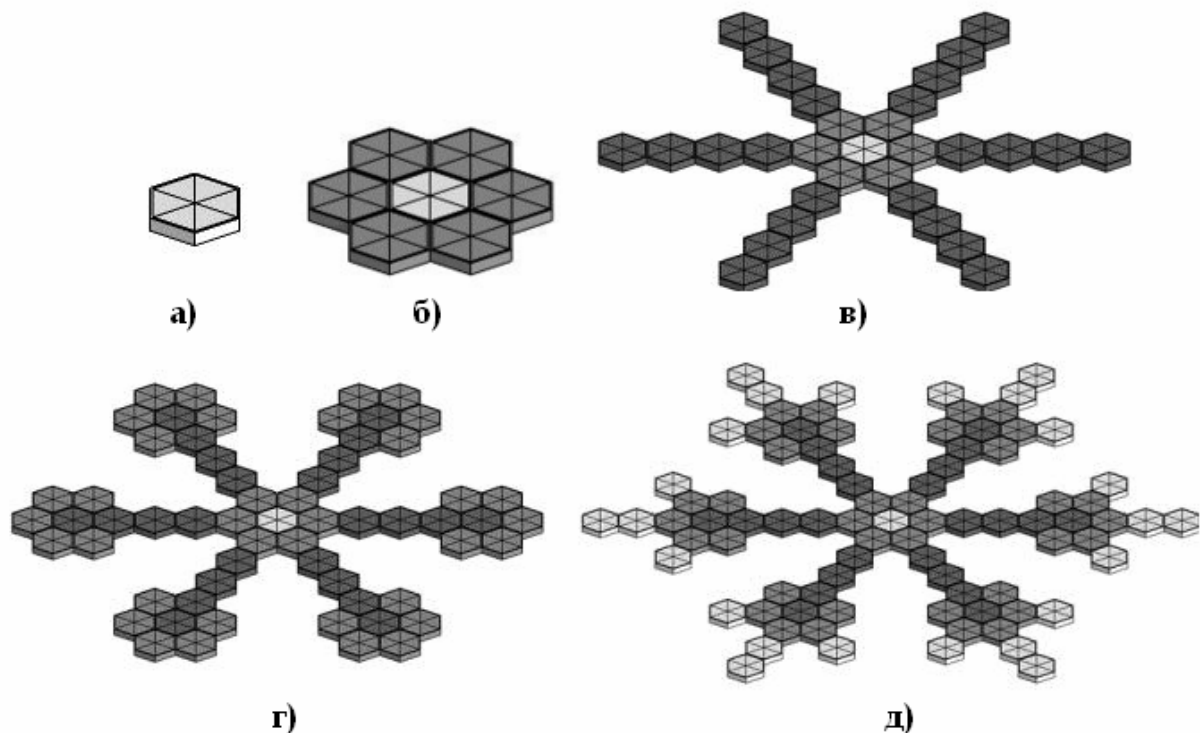


Рисунок 1 - Процес побудови сніжинки

Навіть неозброєним поглядом розглядаючи сніжинки, можна помітити, що жодна з них не повторює іншу. Передбачається, що в одному кубічному метрі снігу знаходиться 350 мільйонів сніжинок, кожна з яких унікальна. Не буває п'ятикутних чи семикутних сніжинок, всі вони мають строго шестикутну форму.

У 1951 році Міжнародна Комісія з Снігу і Льоду прийняла класифікацію твердих опадів. Відповідно до неї всі снігові кристали можна розділити на наступні групи: зірчасті дендрити, пластинки, стовпці, голки, просторові дендрити, стовпці з наконечником і неправильні форми. До них додалися ще три види обледеніли опадів: дрібна снігова крупка, крижана крупа і град [1].

При дослідженні фрактальних властивостей було проаналізовано близько 50 зображень різноманітних сніжинок, що відносяться до різних груп. При дослідженні фрактальна розмірність мікроструктур визначалася методом BOX COUNTING [2]. Для побудови фрактальних розподілень використовувався метод ковзаючого вікна [2, 3].

Результати досліджень та їх огляд

При обчисленні фрактальних властивостей сніжинок було проаналізовано ряд зображень з різними типами сніжинок. В таблицях 1-6 представлені результати обчислень фрактальних характеристик сніжинок різних типів.

В ході дослідження 50 зображень сніжинок були розбиті на групи: пластинки, зірчасті дендрити, голки, неправильні кристали, просторові дендрити, стовпчики. Для кожного зображення було обчислено фрактальні розмірності та побудовано фрактальні розподілення.

У таблиці 1 представлені фрактальні характеристики сніжинок типу «Пластинки». Пластинки - безліч крижаних ребер як ніби ділять лопаті сніжинок на сектора. Вони плоскі і тонкі.

В результаті дослідження було виявлено, що для групи сніжинок «Пластинки» діапазон значень фрактальної розмірності від 1.54 до 1.81, а кількість мод розподілення 4 або 5.

У таблиці 2 представлені фрактальні характеристики сніжинок типу «Зірчасті дендрити». Зірчасті дендрити - кристал або інше утворення, що має деревоподібну структуру. Вони мають шість симетричних основних гілок і безліч розташованих в довільному порядку відгалужень. Їх розмір - 5 мм і більше в діаметрі, як правило, вони плоскі і тонкі - всього 0.1 мм.

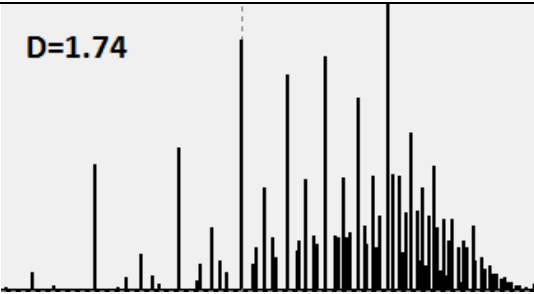
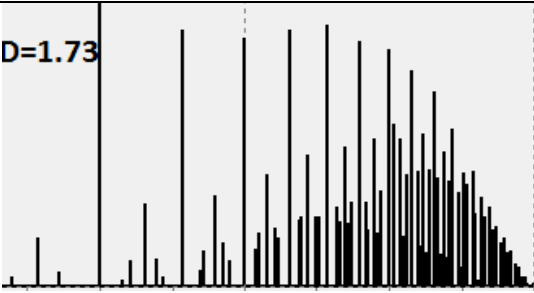
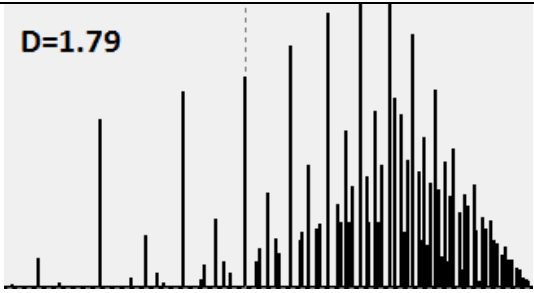
В результаті дослідження було виявлено, що для групи сніжинок «Зірчасті дендрити» діапазон значень фрактальної розмірності від 1.55 до 1.72, а кількість мод розподілення від 4 до 6.

У таблиці 3 представлені фрактальні характеристики сніжинок типу «Голки». Голки - стовпчасті кристали, які вирости довгими і тонкими. Іноді всередині них зберігаються порожнини, а іноді кінці розщеплюються на кілька гілочок.

В результаті дослідження було виявлено, що для групи сніжинок «Голки» діапазон значень фрактальної розмірності від 1.81 до 1.94, а кількість мод розподілення 3 або 6.

Таблиця 1

Значення фрактальної розмірності та фрактальні розподілення сніжинок типу «Пластинки»

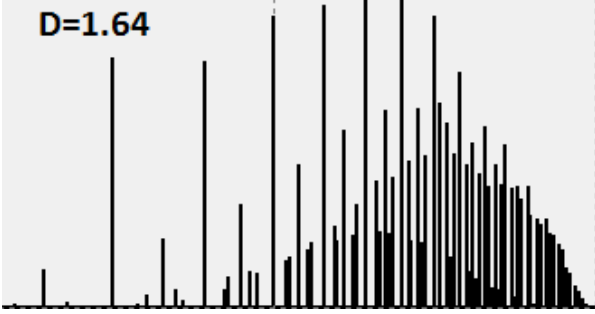
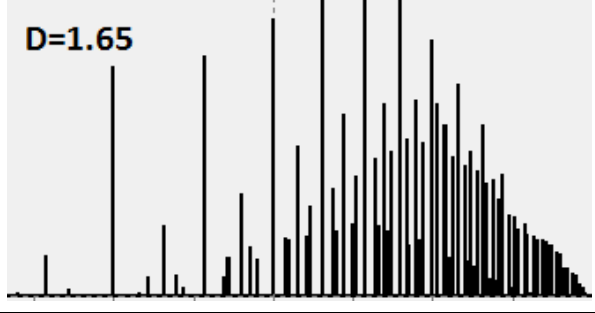
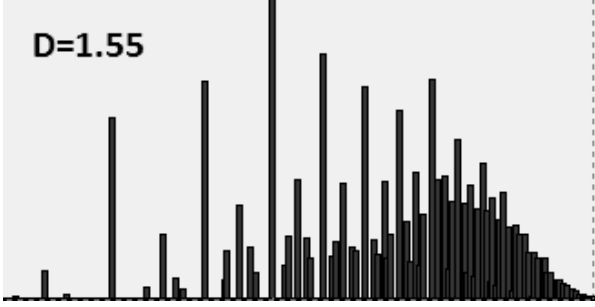
Зображення сніжинок	Фрактальна розмірність та фрактальне розподілення
	 D=1.74
	 D=1.73
	 D=1.79

У таблиці 4 представлені фрактальні характеристики сніжинок типу «Неправильні кристали». Кристали неправильної форми - на частку сніжинки може випасти чимало пригод, вона може потрапити в зону турбулентності і втратити в ній деякі зі своїх гілочок або розла-матися зовсім. Зазвичай таких "покалічених" сніжинок багато в си-рому снігу, тобто при відносно високій температурі , особливо при сильному вітрі.

В результаті дослідження було виявлено, що для групи сніжи-нок «Неправильні кристали» діапазон значень фрактальної розмір-ності від 1.44 до 1.89, а кількість мод розподілення від 3 до 5.

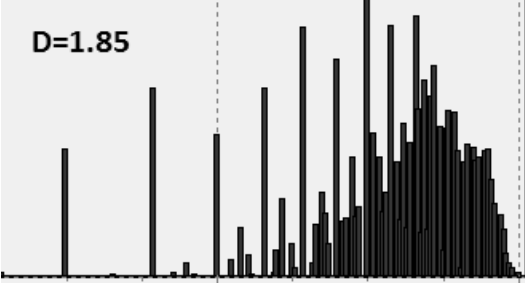
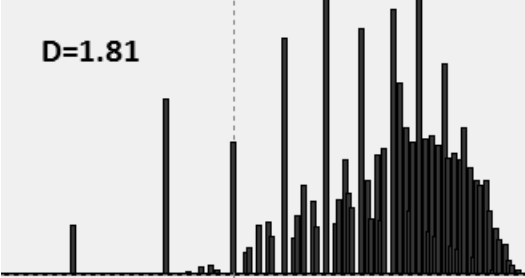
Таблиця 2

Значення фрактальної розмірності та фрактальні розподілення
сніжинок типу «Зірчасті дендрити»

Зображення сні- жинок	Фрактальна розмірність та фрактальне розподі- лення
	 D=1.64
	 D=1.65
	 D=1.55

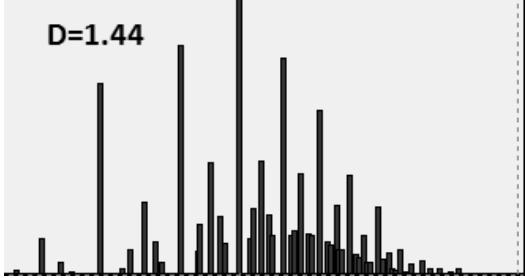
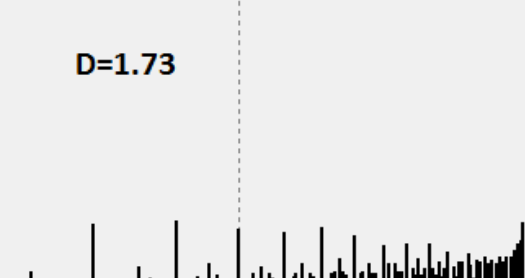
Таблиця 3

Значення фрактальної розмірності та фрактальні розподілення
сніжинок типу «Голки»

Зображення сніжинок	Фрактальна розмірність та фрактальне розподілення
	
	

Таблиця 4

Значення фрактальної розмірності та фрактальні розподілення
сніжинок типу «Неправильні кристали»

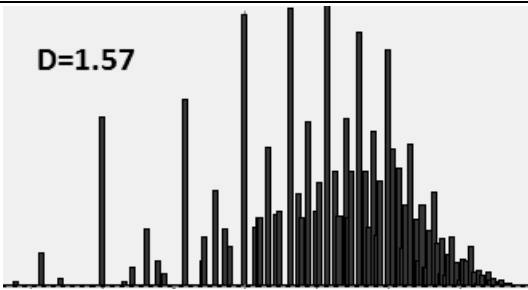
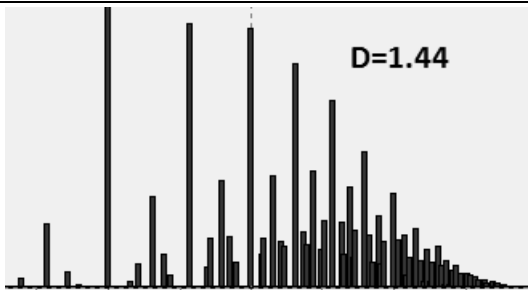
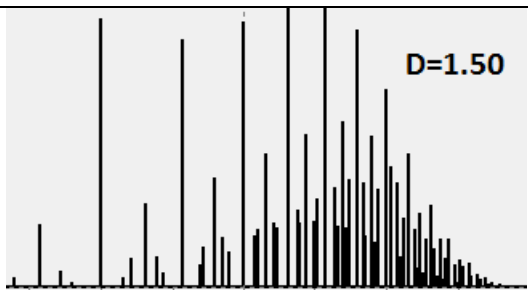
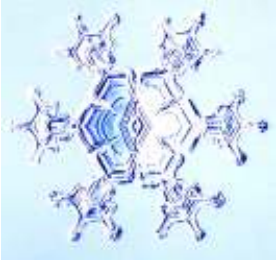
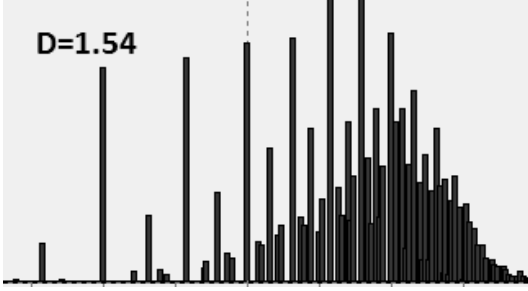
Зображення сніжинок	Фрактальна розмірність та фрактальне розподі- лення
	
	

У таблиці 5 представлені фрактальні характеристики сніжинок типу «Просторові дендрити». Просторові дендрити - дуже цікаві конфігурації виходять, коли плоскі або стовпчасті кристали зростаються або спресовуються, утворюючи об'ємні структури, де кожна гілочка розташована в своїй площині.

В результаті дослідження було виявлено, що для групи сніжинок «Просторові дендрити» діапазон значень фрактальної розмірності від 1.41 до 1.78, а кількість мод розподілення 4 або 5.

Таблиця 5

Значення фрактальної розмірності та фрактальні розподілення сніжинок типу «Просторові дендрити»

Зображення сніжинок	Фрактальна розмірність та фрактальне розподілення
	 D=1.57
	 D=1.44
	 D=1.50
	 D=1.54

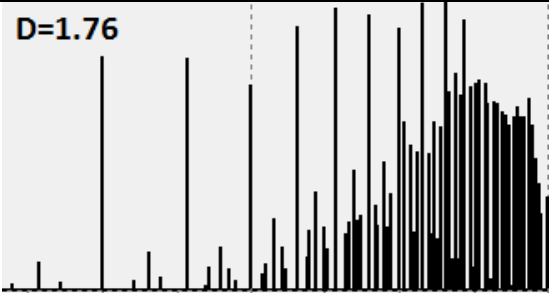
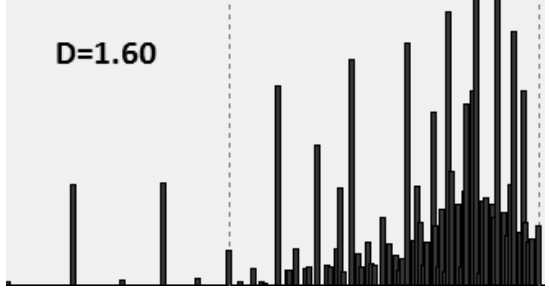
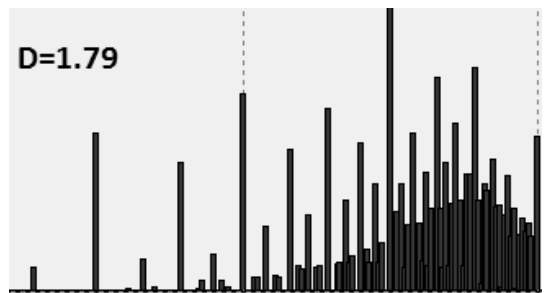
У таблиці 6 представлені фрактальні характеристики сніжинок типу «Стовпчики». Стовпчики - плоскі, пластинчасті сніжинки більше притягують погляд, проте найпоширенішою формою снігових кристалів є стовпчик або колона. Такі порожнисті стовпчики можуть бути шестигранними, у вигляді олівця, загострені на кінцях у вигляді конуса.

Стовпчики з наконечниками - спочатку такі кристали мають стовбчасту форму, але в результаті деяких процесів змінюють напрямок росту, перетворюючись в пластинки. Таке може статися, якщо, кристал заносить вітром в зону з іншою температурою.

В результаті дослідження було виявлено, що для групи сніжинок «Стовпчики» діапазон значень фрактальної розмірності від 1.60 до 1.88, а кількість мод розподілення від 3 до 6.

Таблиця 6

Значення фрактальної розмірності та фрактальні розподілення сніжинок типу «Стовпчики»

Зображення сніжинок	Фрактальна розмірність та фрактальне розподілення
	D=1.76 
	D=1.60 
	D=1.79 

У таблиці 7 наведені значення фрактальної розмірності та кількість мод розподілення для проаналізованих зображень сніжинок різних типів. З результатів, наведених у таблиці 7 видно, що значення фрактальної розмірності для зображень сніжинок різних груп, суттєво відрізняються. Фрактальні розподілення також мають різний характер та різну кількість мод розподілення.

Таблиця 7

Значення фрактальних характеристик

Тип сніжинки	Кількість мод	Фрактальна розмірність
Пластинки	4	1.74; 1.73; 1.37; 1.81; 1.60; 1.54; 1.76; 1.79
Пластинки	5	1.57
Зірчасті дендрити	4	1.72; 1.72; 1.67; 1.64; 1.43; 1.65
Зірчасті дендрити	5	1.70
Зірчасті дендрити	6	1.55
Голки	3	1.82
Голки	6	1.85; 1.81; 1.90; 1.94
Неправильні кристали	3	1.71; 1.73
Неправильні кристали	4	1.79; 1.44; 1.57
Неправильні кристали	5	1.77; 1.89; 1.69; 1.74
Просторові дендрити	4	1.57; 1.53; 1.65; 1.50; 1.54; 1.41; 1.54
Просторові дендрити	5	1.44; 1.78; 1.55
Стовпчики	3	1.86; 1.88
Стовпчики	4	1.76; 1.82
Стовпчики	5	1.60
Стовпчики	6	1.79

Висновки

В роботі було досліджено 50 зображень сніжинок, які були розбиті на групи: пластинки, зірчасті дендрити, голки, неправильні кристали, просторові дендрити, стовпчики. Для кожного зображення було обчислено фрактальні розмірності та побудовано фрактальні розподілення. В результаті дослідження було виявлено, що для кожної групи сніжинок є свій діапазон значень фрактальної розмірності та кількість мод розподілення: для пластинок $n = 4,5$; $D = 1.54...1.81$; для зірчастих дендритів $n = 4,5,6$; $D = 1.55...1.72$; для голок $n = 3,6$; $D = 1.81...1.94$; для неправильних кристалів $n = 3,4,5$; $D = 1.44...1.89$; для просторових дендритів $n = 4,5$; $D = 1.41...1.78$; для стовпчиків $n = 3,4,5,6$; $D = 1.60...1.88$.

З результатів дослідження можна зробити висновок, що значення фрактальної розмірності для зображень сніжинок різних груп, суттєво відрізняються. Фрактальні розподілення також мають різний характер та різну кількість мод розподілення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шафрановский И.И. Кристаллографические представления И. Кеплера и его трактат «О шестиугольном снеге».. — М., 1971. — 24 с.
2. Журба А.О., Михальов О.І. Фрактальні характеристики зображень металоструктур та особливості їх обчислення // Системные технологии моделирования сложных систем / Монография под общей редакцией проф. А.И. Михалёва. — Днепр: НМетАУ-ИБК “Системные технологии”, 2016. — С. 299 – 327. ISBN 978-966-2596-19-9.
3. Журба А.О. Дослідження впливу параметрів фрактальних об’єктів на їх розмірність / А.О. Журба, Д.І. Журба // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. — Випуск 1 (102). - Дніпропетровськ. - 2016. — С. 125–131.

Д.А. Левченко, А.Ю. Зимогляд, А.И. Гуда

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАТЧИКА ХОЛЛА ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ РАССТОЯНИЙ В МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Рассмотрено моделирование работы датчика Холла при измерении магнитной индукции. Для этого был собран стенд, на котором была исследована зависимость расстояния магнита до датчика и выходного напряжения.

Ключевые слова: магнитная индукция, датчик Холла, привод.

Введение и постановка задачи

В настоящее время важной задачей, которая стоит перед разработчиками манипуляционных систем, является позиционирование манипулятора при движении. Угол вращения выходного вала привода и соответственно перемещение отдельных звеньев манипулятора зависит от управляющего сигнала, на приводе и от нагрузке на данных звеньях. Для определения точности движения звеньев манипулятора в пространстве можно использовать измерение магнитного поля. Источниками магнитного поля являются намагниченные тела и движущиеся электрически заряженные тела. В настоящее время известно много разнообразных приборов и способов для измерения магнитной индукции. В данном исследовании было принято решение использовать датчик Холла, с явлением возникновения поперечной разности потенциалов (называемой также холловским напряжением) при помещении проводника с постоянным током в магнитное поле.

Цели

Целью данной работы является исследование датчика Холла и проведение калибровки выбранного датчика с целью измерения магнитной индукции.

Основная часть

Магнитная индукция

Выходное напряжение на датчике прямо пропорционально индукции магнитного поля, проходящего через полупроводниковый материал. Вектор магнитной индукции равен:

$$B = \frac{F}{Il} \quad (1)$$

где F - сила, действующая со стороны магнитного поля на проводник с током; I - сила тока в проводнике; l - длина проводника.

Это выходное напряжение может быть небольшим, всего несколько десятков милливольт, даже при воздействии сильных магнитных полей, так что возникла необходимость усилить выходное напряжение до уровня 0.5 - 1 Вольт, для дальнейшей фиксации на цифровом осциллографе. Для этого был собран инструментальный усилитель сигнала с фильтром низкой частоты на ОУ LM358. Данный усилитель позволил регулировать коэффициент усиления сигнала с датчика Холла, так же появилась возможность использовать его в качестве регулируемого фильтра низких частот.

Применяемый операционный усилитель, имел свойства, достаточные для измерений, в том числе имел определенные плюсы: одно полярное питание, широкий диапазон питающих напряжений (Рисунок 1). Фильтр низкой частоты, позволил регулировать частоту среза от 1 кГц до 10 кГц, а набор резисторов на плате позволял регулировать усиление от 1 до 30 раз. Так же схемотехнические решения, примененные в данной схеме усилителя, позволили компенсировать постоянную составляющую на датчике.

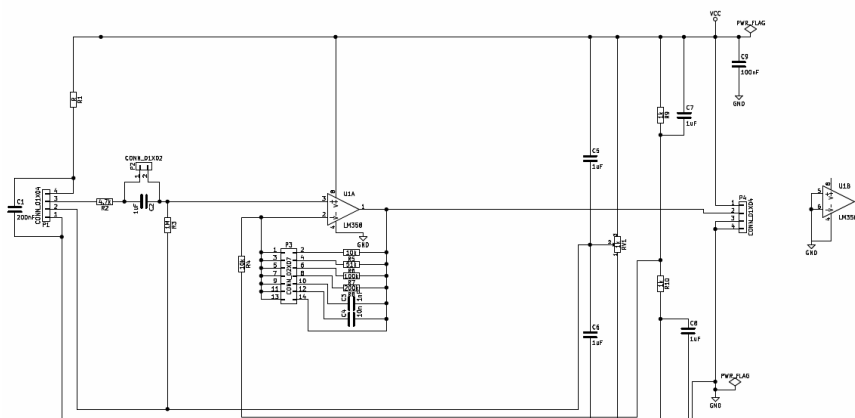


Рисунок 1 – Схема усилителя для датчика Холла

Датчик Холла

В работе использовался аналоговый датчик Холла модели HR-01. Датчик преобразует индукцию магнитного поля в разность потенциалов, знак и величина которых, определяется полярностью и силой магнитного поля. Аналоговый датчик дает непрерывное выходное напряжение, которое пропорционально магнитному полю.

$$V_H = R_H \left(\frac{I}{t} \times B \right) \quad (2)$$

где V_H - напряжение Холла; R_H - коэффициент Холла; I - ток проходящий через датчик; t - толщина датчика; B - плотность магнитного потока.

Коэффициент Холла равен:

$$R_H = \frac{1}{en} \quad (3)$$

где e - заряд носителей тока; n - число носителей тока в единице объема.

Данный датчик имеет ряд полезных свойств, для решения поставленной задачи:

- данные датчик может быть использован в случаях, когда измеряемые данные изменяются с малой амплитудой;
- имеет малые линейные размеры;
- зависимость выходного напряжения от тока или поля линейна в больших диапазонах;
- возможность бесконтактного измерения магнитного поля.

Но есть и недостатки. Например, неоднородность материалов при изготовлении. Отсюда большой разброс параметров в пределах одной партии, необходимость калибровки.

Калибровка датчика

Для получения более корректных данных необходимо было произвести калибровку датчика. Для этого был собран измерительный стенд, благодаря которому удалось проанализировать зависимость напряжения на датчике Холла от расстояния. Начальные условия задавались следующим образом: датчик был зафиксирован на стенде. Магнит, прикрепленный к валу привода был помещен в точку, максимально удаленную от датчика. Движение магнита осуществляется благодаря вращению привода. (Рисунок 2)

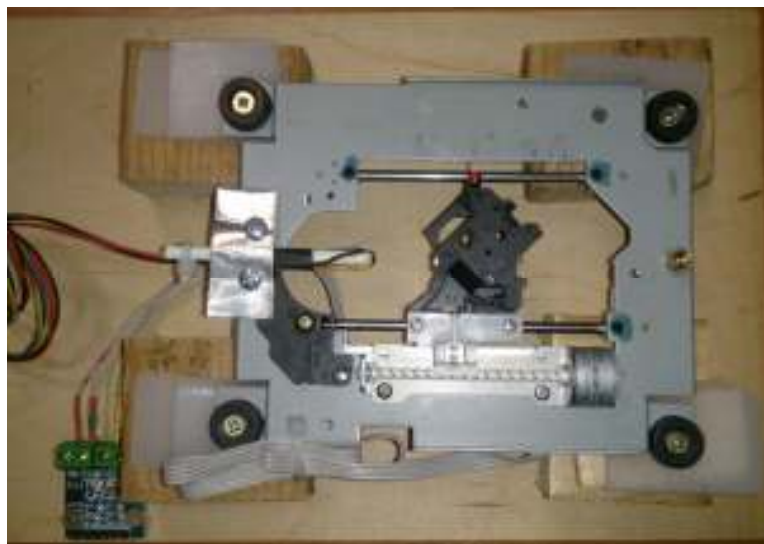


Рисунок 2 – Исследовательский стенд

Есть несколько возможных путей движения для обнаружения магнитного поля. В данном случае датчик двигался по направлению к магниту. Это движение формирует выходной сигнал, V_H , который представляет собой напряженность магнитного поля, в зависимости от расстояния до датчика Холла. Чем ближе и, следовательно, тем сильнее магнитное поле, тем больше выходное напряжение и наоборот.

Приводу подавались команды, что бы повернуть вал на 5 шагов и приблизить магнит к датчику. После чего, с помощью метрической шкалы, нанесённой на боковой панели стенда, была измерена длина шага, которая равнялась 0,0728 мм, а так же было проведено измерение напряжения в данных точках.

Используя полученные значения, был построен график зависимости напряжения на датчике от расстояния (Рисунок 3).

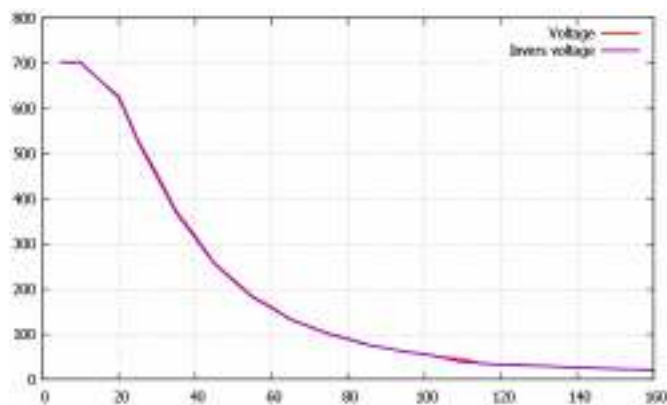


Рисунок 3 – График зависимости напряжения на датчике от расстояния до магнита

На основании полученного графика, можно сделать вывод, что в области малых расстояний присутствует область с практически однородным магнитным полем, что делает измерение расстояния невозможным. Эта область была убрана из дальнейших расчетов. В нашем случае эта область составила ~5 мм. Можно сделать предположение, что оставшаяся часть зависимости близка к степенной. Для проверки данного предположения был построен график в логарифмическом виде. Присутствие линейного участка в правой части графика указывает на оправданность предположения о степенной зависимости (Рисунок 4).

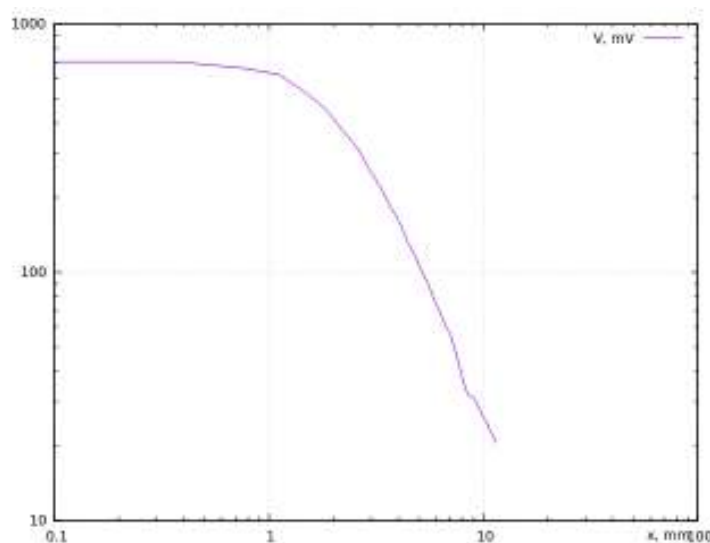


Рисунок 4 –График зависимости напряжения на датчике от расстояния до магнита после логарифмирования

После проведения логарифмирования, была выделена область с степенной зависимостью. (Рисунок 5).

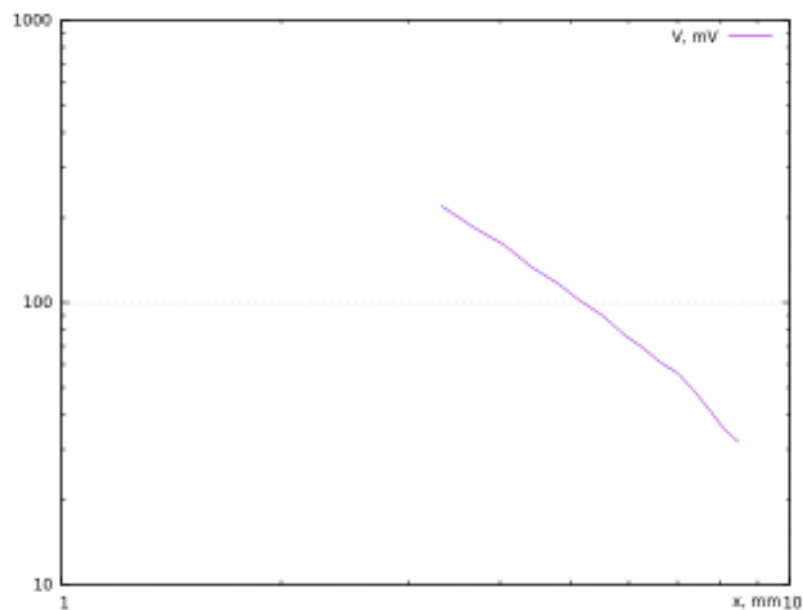


Рисунок 5 – График с областью степенной зависимости

Далее был построен график по экспериментальным данным, без участка с однородным магнитным полем. (Рисунок 6).

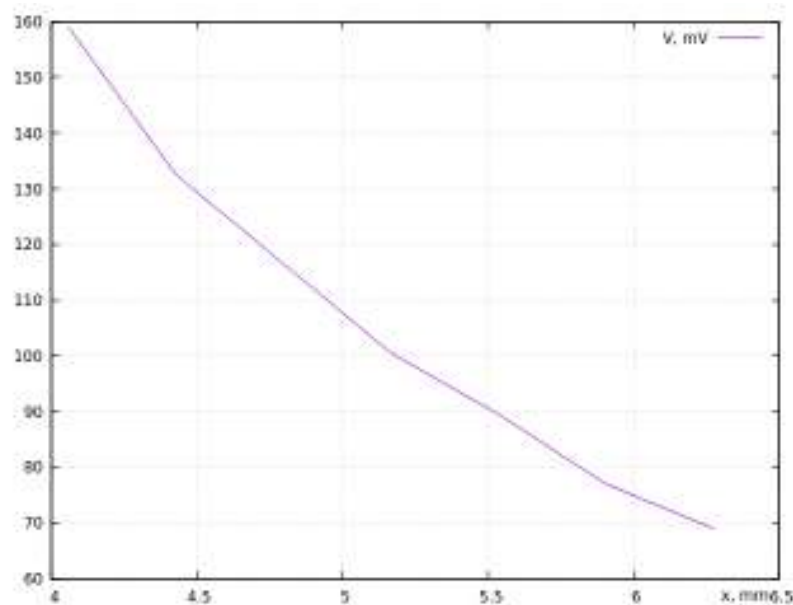


Рисунок 6 – График без однородной области

После было принято решение построить модель с такой же или близкой зависимостью. Для постройки модели было решено использовать формулу:

$$f(x) = a \times x + b \quad (4)$$

По этой формуле были получены точки, из которых были получен график линейной зависимости. При этой зависимости, и на-

начальном значении $a=-39,4$, $b=310$ полученные данные имели погрешность около 5%, от экспериментальных данных. (Рисунок 7).

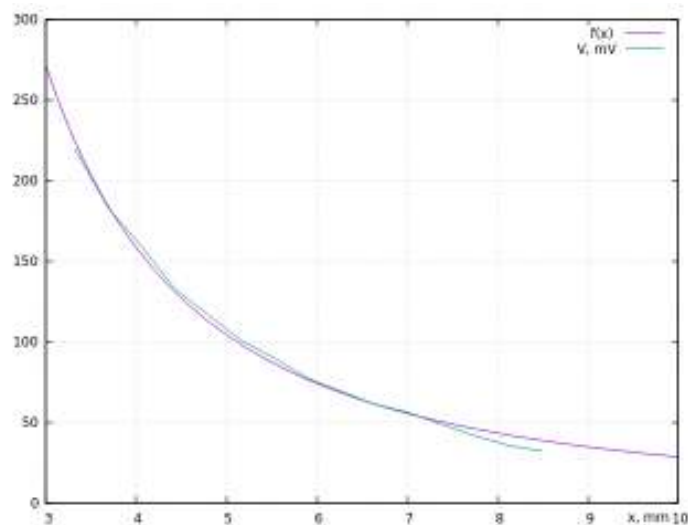


Рисунок 7 – График сравнения модели и экспериментальных данных в линейном виде

После было принято решение построить модель для степенной зависимости. Для постройки модели было решено использовать формулу:

$$f(x) = a \times x^b \quad (5)$$

По точкам, полученным после вычисления этой формулы, был построен график степенной зависимости. При этой зависимости, и начальном значении $a=2132$, $b=-1,8$ полученные данные имели погрешность около 2%, от экспериментальных данных. (Рисунок 8).

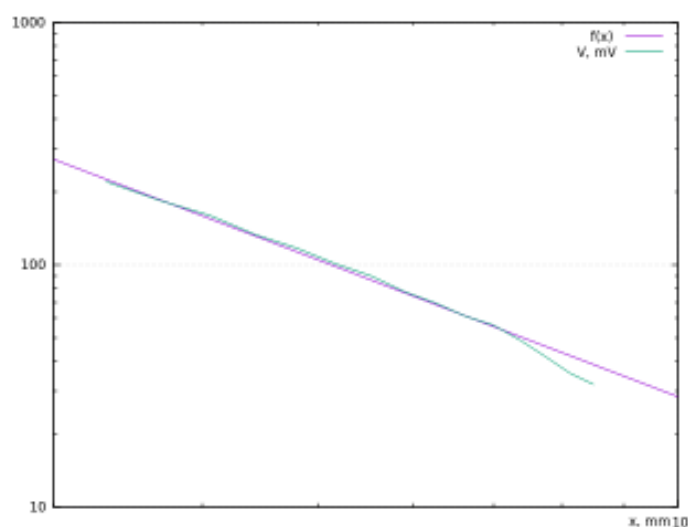


Рисунок 8 – График сравнения модели и экспериментальных данных в логарифмическом виде

Незначительное расхождение экспериментальных и теоретических расчетных значений, а именно 2% для степенной зависимости и 5% для линейной, на графике свидетельствует о возможности использования датчика Холла, для бесконтактного измерения положения исследуемого предмета в пространстве, где высокая точность не критична.

Вывод

Была произведена калибровка датчика Холла. Исследована зависимость напряжения на датчике Холла от расстояния до магнита. Так же был сделан вывод, что датчик Холла возможно применять для измерения расстояния. Были созданы 2 модели для описания зависимости изменения напряжения на датчике от расстояния до магнита, с ошибкой 2% для степенной и 5% для линейной. На основе полученных данных было сделано предположение о целесообразности применения датчика Холла при позиционировании манипуляционных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руденко В.С. Промислова електроніка: підручник / В.С. Руденко, В.Я. Ромашко, В.В. Трифонюк. – К.: Либідь, 1993. 432 с.
2. Хоровиц П. Мистецтво схемотехніки. Частина 2 / П. Хоровиц, У. Хилл. – М.: Мир, 1995. - 371 с.
3. Сенько В.І. Електроніка і мікросхемотехніка. Том 1 – Елементна база електронних пристроїв. / В.І. Сенько, М.В. Панасенко та ін. - Київ: Видавництво «Обереги», 2000. 300 с.

А.И. Михалев, М.А. Солдатова, А.С. Стенин
**МОДАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗАКОНОВ
СТАБИЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ С
ТРАНСПОРТНЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ**

Аннотация. Предложен модальный синтез оптимальных законов стабилизации объектов управления с транспортным запаздыванием в виде линейной комбинации переменных состояния, позволяющих обеспечить заданные динамические свойства замкнутой оптимальной системы. Модальный синтез оптимальных законов стабилизации осуществляется на основе метода неопределенных коэффициентов и процедуры выбора и коррекции спектра корней (собственных чисел) замкнутой оптимальной системы. Для устранения возникновения из-за наличия запаздывания устойчивых автоколебаний в конечной точке процесса стабилизации вблизи программной траектории движения предлагается использовать метод компенсации запаздывания Бэсса.

Ключевые слова: линейная стационарная система, режим стабилизация, транспортное запаздывание, модальный синтез, оптимальный закон

Актуальность проблемы

Динамика большинства технологических процессов в разных отраслях народного хозяйства, в том числе металлургии и машиностроения, в режиме стабилизации переменных состояния описывается линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами]. Многие из них имеют запаздывание в контуре управления. Наличие запаздывания объясняется конечной скоростью распространения потоков информации в технологических процессах. Запаздывание может возникать также в связи с затратой времени на передачу сигнала или, как это бывает чаще, вызывается упрощающими явлением предположениями, в силу которых считают, что действие промежуточных и усиливающих звеньев в управляемом технологическом процессе сводится к передаче сигнала с запаздыванием [1,2]. В этих случаях принято говорить о технологических процессах с транспортным запаздыванием.

Как правило, запаздывание имеет сравнительно малую величину, однако не учет запаздывания приводит к возникновению в процессе управления нежелательных эффектов, в частности возникновению устойчивых автоколебаний в установившемся режиме. Кроме того, ухудшается качество процесса стабилизации.

Отсюда задача синтеза оптимальных законов стабилизации объектов управления актуальна и имеет несомненную практическую ценность.

Обзор существующих решений

Одной из центральных задач как теории, так и практики автоматического управления является задача синтеза систем, в результате решения которой определяются, структура системы автоматического управления (САУ) и ее параметры из условия обеспечения устойчивости системы и качества переходных процессов (достижение необходимого быстродействия, недопустимость больших перерегулирований), повышения точности управления в установившихся режимах и др. Линейные регуляторы состояния являются эффективным средством обеспечения динамических показателей работы не только линейных объектов управления любого, сколь угодно высокого порядка, но и объектов, содержащих нелинейные и дискретные звенья, оказывающие существенное, но не определяющее влияние на динамические процессы. Существует два основных детерминированных подхода к созданию систем управления по вектору состояния объекта – АКОР (аналитическое конструирование оптимальных регуляторов) и модальное управление. В 1960 г. появилась работа профессора А.М. Летова [3,5], в которой было получено аналитическое решение задачи об оптимальной стабилизации линейных стационарных объектов при квадратичном функционале качества. Это направление получило название аналитического конструирования регуляторов. В зарубежных источниках оно называется линейно-квадратической оптимизацией, а первой зарубежной публикацией была вышедшая в том же 1960 г. работа американского математика Р. Калмана, в которой решалась задача оптимизации линейных нестационарных объектов [4]. АКОР имеет конечной целью получение закона управления чисто аналитическим путем, исходя из требований, предъявляемых к качеству управления [5,6]. Синтез желаемой замкнутой оптимальной системы управления с использованием АКОР зависит от выбора проектиров-

щико́м подходя́щих значе́ний коэффи́циентов матри́ц штра́фов для полу́чения миниму́ма критери́я каче́ства, что не вполне удобно из-за отсут́ствия оче́видной зави́симости между́ выбран́ными коэффи́циентами и пере́ходными проце́ссами в замкну́той систе́ме. Кроме́ того, приме́нение мето́да АКОР приводит к необходи́мости реше́ния нели́нейного матри́чного уравне́ния Риккати́, что явля́ется нетривиаль́ной зада́чей и тре́бует использо́вания специа́льных числен́ных проце́дур [7]. Кроме́ того, основ́ным недоста́тком мето́да АКОР явля́ется отсут́ствие пря́мой зави́симости между́ коэффи́циентами функцио́налов и показате́лями каче́ства проце́ссов стабили́зации объеќтов управле́ния. Э́того недоста́тка ли́шен мето́д мода́льного управле́ния,

Су́ть мода́льного синте́за оптима́льного управле́ния состо́ит в опреде́лении числен́ных значе́ний коэффи́циентов пере́дачи безы́нерционных о́братных связа́й (ОС) по все́м пере́менным состоя́ния техно́логическо́го проце́сса с це́лью обеспе́чения зада́нного расписа́ния корне́й характе́ристическо́го уравне́ния (собстве́нных чисе́л) замкну́той оптима́льной систе́мы управле́ния [8]. При э́том возника́ет трудно́сть выбо́ра тре́буемых собстве́нных чисе́л, особе́нно при нали́чии э́ффекта транспо́ртного запа́здыва́ния

В да́нном докла́де, для преодо́ления указа́нных трудно́стей, предло́жен мода́льный синте́з оптима́льных зако́нов стабили́зации техно́логических проце́ссов с транспо́ртным запа́здыва́нием в ви́де линей́ной комбина́ции пере́менных состоя́ния, позво́ляющий обеспе́чить зада́нные дина́мические сво́йства. Проце́дура мода́льного синте́за оптима́льного зако́на стабили́зации осущест́вляется на осно́ве оригина́льных мето́да неопреде́ленных коэффи́циентов и проце́дуры выбо́ра и корре́кции спеќтра корне́й замкну́той оптима́льной систе́мы. Для устрани́ения возникнове́ния из-за нали́чия запа́здыва́ния устойчи́вых автоколеба́ний в ко́нечной то́чке проце́сса стабили́зации вб́лизи зада́нной траекто́рии дви́жения предлага́ется использо́вать мето́д компенса́ции запа́здыва́ния Бэ́сса [9].

Поста́новка зада́чи

Пусть мо́дель дина́мики объеќта управле́ния описы́вается как

$$\dot{\bar{x}} = A\bar{x} + By, \quad (1)$$

где $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ полно́стью изме́ряемый векто́р откло́нений со́стоя́ний систе́мы от програ́мной траекто́рии дви́жения ; А, В –

матрицы коэффициентов размерностью $n \times n$, $n \times 1$; y – скаляр, характеризующий отклонение органа управления, динамическая модель которого имеет вид

$$\dot{y} = \lambda_y y + d_u u(t - \theta), \quad (2)$$

где λ_y, d_u, θ – константы, определяемые особенностями объектов управления; $u(t)$ – скалярное управляющее воздействие, которое будем искать в виде

$$u = \bar{p}^T \bar{x}, \quad (3)$$

Задача заключается в определении коэффициентов $\bar{p} = (p_1, p_2, \dots, p_n)^T$, обеспечивающих заданные динамические свойства процесса стабилизации и обеспечения устойчивого программного движения системы (1).

Решение задачи стабилизации

Так как запаздывание θ , как правило, достаточно малая величина, запишем уравнение (2) как

$$\dot{y}(t) = \lambda_y y(t) + d_u u(t) - d_u \theta \dot{y}(t) \quad (4)$$

В том случае если каким-либо образом оценить или измерить состояние оператора $y(t)$, система (1), (4) является полностью наблюдаемой и задача решается следующим образом.

Вводим в рассмотрение расширенный фазовый вектор $\tilde{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1} = y)^T$. Тогда уравнение замыкания имеет вид

$$u = \tilde{p}^T \tilde{x}, \quad (5)$$

а характеристический полином замкнутой системы (1), (4) примет вид

$$\det(A^* - I\lambda) = \left| \begin{array}{c|c} A - I\lambda & B \\ \hline d_u \left(\bar{p}^T - \theta \bar{p}^T A \right) & \frac{B}{1 + d_u \theta p_{n+1}} - \lambda \end{array} \right| = 0, \quad (6)$$

где A^* – матрица $(n+1) \times (n+1)$, $\bar{p} = (p_1, p_2, \dots, p_n)^T$

Известно, что умножение всех элементов какой-либо строки или столбца на множитель λ равносильно умножению определителя на λ [7]. Отсюда, определитель (6) можно записать

$$\det(A^* - I\lambda) = \frac{1}{1 + d_u \theta p_{n+1}} \left| \frac{A - I\lambda}{\bar{p}^T - \theta \bar{p}^T A} \frac{B}{\lambda_y + d_u p_{n+1} - d_u \bar{p}^T \theta B - \lambda(1 + d_u \theta p_{n+1})} \right|$$

и, следовательно, считая, что $(1 + d_u \theta p_{n+1})^{-1} \neq 0$, запишем

$$\left| \frac{A - I\lambda}{\bar{p}^T - \theta \bar{p}^T A} \frac{B}{\lambda_y + d_u p_{n+1} - d_u \bar{p}^T \theta B - \lambda(1 + d_u \theta p_{n+1})} \right| = 0. \quad (7)$$

Легко показать, что определитель (7) является полиномом степени $(n+1)$ от λ , и коэффициенты его линейно зависят от

$$\tilde{p} = (p_1, p_2, \dots, p_n, p_{n+1})^T,$$

то есть

$$\det(A^* - I\lambda) = H(\lambda, \tilde{p}) = \lambda^{n+1} + \left(\tilde{d}_n^T \tilde{p} + d_n^0 \right) \lambda^n + \dots + \left(\tilde{d}_1^T \tilde{p} + d_1^0 \right) = 0. \quad (8)$$

Действительно, раскрывая определитель (7) по последней строке, в которой каждый элемент является линейной комбинацией коэффициентов $\tilde{p}$, приходим к выражению (8). Определение неизвестных коэффициентов $\tilde{d}_i, d_i^0 (i = \overline{0, n})$ производится аналогично процедуре метода неопределенных коэффициентов [6].

Приравнивая между собой коэффициенты при степенях полинома (8) и полинома с выбранным для обеспечения заданных качественных показателей переходных процессов спектром $\{\lambda_i\} (i = \overline{1, n+1})$

$$L(\lambda) = \prod_{i=1}^{k+1} (\lambda - \lambda_i) = \sum_{k=0}^{n+1} l_k \lambda^k, \quad (9)$$

где $l_{n+1}=1$,

получаем совместную систему линейных алгебраических уравнений

$$D_{n+1} \tilde{p} = \tilde{l}, \quad (10)$$

где D_{n+1} – матрица $(n+1) \times (n+1)$ коэффициентов, а $\tilde{p}, \tilde{l}$ – векторы-столбцы размерностью $(n+1)$.

Решение системы (4.31) $\tilde{p}^*$ доставляет замкнутой системе заданный спектр $\{\lambda_i\}, (i = \overline{1, n+1})$.

Зачастую, в реальных условиях измерить или оценить соответствие оператора $y(t)$ невозможно. Тогда необходимо в уравнении замыкания (5) положить $p_{n+1} \equiv 0$.

В результате характеристический определитель замкнутой системы имеет вид

$$\det(A^* - I\lambda) = \left| \frac{A - I\lambda}{d_u(\bar{p}^T - \theta \bar{p}^T A)} \middle| \frac{B}{\lambda_y - d_u \theta \bar{p}^T B - \lambda} \right|. \quad (11)$$

Желаемый характеристический полином определяется, как и в предыдущем случае, выражением (9). Приравнявая коэффициенты полиномов (11) и (9) при одинаковых степенях λ получим в отличие от (10) несовместную систему линейных алгебраических уравнений

$$D_n \bar{p} = \tilde{l}, \quad (12)$$

где D_n – матрица $(n \times n)$ коэффициентов; $\bar{p}$ – n -мерный вектор-столбец.

Для решения такой системы можно воспользоваться методом наименьших квадратов [8], согласно которого вектор неизвестных коэффициентов $\bar{p}$ приближенно определяется как

$$\bar{p} = (D_n^T D_n)^{-1} D_n^T \tilde{l}. \quad (13)$$

Выбор и коррекция спектра корней

Как правило, в режиме стабилизации качество управления объектом определяется временем переходного процесса $t_{п.п.}$ и степенью затухания этого процесса

$$\xi = \frac{x_j(t_{п.п.})}{x_j(t_0)} < 1 \quad (j = \overline{1, n}) \quad (14)$$

где $\bar{x}_j$ – элементы вектора состояния $\bar{x}$.

Если $\lambda_0 = \varepsilon_0 + i\omega_0$ – доминирующий корень, то решение системы (1) можно приближенно записать в виде

$$x_j = x_j(t_0) e^{\varepsilon_0 t} \cos(\omega_0 t + j_i) \quad (j = \overline{1, n}) \quad (15)$$

Из уравнения (15) с учетом выражения (14) получаем

$$\frac{x_j(t_{п.п.})}{x_j(t_0)} \leq e^{\varepsilon_0 t_{п.п.}} \leq \xi, \quad (16)$$

откуда $\varepsilon_0 \leq \frac{\ln \xi}{t_{п.п.}} < 0$.

Величину мнимой части ω_0 выбираем равной $1/t_{п.п.}$. При этом за время переходного процесса переменная $x_j(t)$ совершит одно колебание вокруг положения равновесия и будет стремиться к нему с противо-

положительной относительно начального возмущения стороны, что весьма желательно по физическим соображениям.

Во избежание перерегулирования остальные корни характеристического полинома следует размещать возможно ближе к доминирующим с выполнением условий

$$\begin{aligned}\omega_0 < \omega_1 < \omega_2 < \dots, \\ |\varepsilon_0| < |\varepsilon_1| < |\varepsilon_2| < \dots,\end{aligned}\quad (17)$$

чтобы составляющие с большой колебательностью затухали быстрее

$$|\lambda_k| - |\lambda_{k-1}| > 0,1(|\lambda_k|), \quad (18)$$

и чтобы корни не сливались в кратные [7].

Для уменьшения времени переходного процесса желательно располагать корни на комплексной плоскости как можно левее. Однако ограничения на переменные состояния накладывают определенные ограничения и на модули корней.

Учитывая запись (12) записываем

$$x_j = \frac{d}{dt} x_j = \sqrt{\omega^2 + \varepsilon^2} x_j(t_0) e^{\varepsilon t} \cos(\omega t + j_{j1}) = \max \sqrt{\omega^2 + \varepsilon^2} x_j(t_0). \quad (19)$$

Каждое j -е уравнение системы (1) порождает две верхние границы модулей корней характеристического полинома, вызванные одним и тем же ограничением на левую и правую части j -го уравнения системы (1).

С учетом выражения (16) определяем для левой части j -го уравнения системы (1), что

$$\max_t \max_{\lambda} x_j = \sqrt{\omega^2 + \varepsilon^2} x_j(t_0) e^{\varepsilon t} \cos(\omega t + j_{j1}) = \max \sqrt{\omega^2 + \varepsilon^2} x_j(t_0). \quad (20)$$

Для правой части

$$\max_t \max_{\lambda} \sum_{i=1}^n a_{ji} x_i \leq \sum_{i=1}^n |a_{ji} x_i(t_0)|. \quad (21)$$

Сравнивая выражения (17) и (18), ввиду отсутствия явной зависимости неравенства (21) от модуля корней можем записать следующее неравенство:

$$\max_{\lambda} \sqrt{\omega^2 + \varepsilon^2} \leq \frac{\sum_{i=1}^n |a_{ji} x_i(t_0)|}{x_j(t_0)}. \quad (22)$$

Наиболее жесткое из ограничений вида (22) даст левую границу расположения корней характеристического полинома. При этом

стремление ε к увеличению для ускорения затухания процесса приводит к минимизации ω с учетом выражений (17) и (18).

Расположение корней может быть скорректировано после моделирования переходного процесса, исходя из наложенных на переменные состояния ограничений, путем изменения коэффициентов характеристического полинома.

Пусть на j -ю переменную состояния наложено ограничение $\max |x_j| \leq x_j^{\text{зад}}$. В этом случае доумножением коэффициентов характеристического полинома при степени 1 на величину $\left[\frac{x_j^{\text{зад}}}{x_j} \right]$ гомотетично сдвигаем все корни относительно начала координат (согласно теореме Виета) с коэффициентом гомотетии $x_j^{\text{зад}}/x_j$ [7]. Также согласно выражению (21) изменится значение $\max |x_j|$.

Обеспечение отсутствия автоколебаний вблизи программной траектории движения системы

Синтезированный, предложенным в статье методом, оптимальный закон стабилизации (3) системы (1) обеспечивает заданные динамические свойства процесса стабилизации системы при возникновении отклонений от заданной (программной) траектории движения. Однако, этот закон не устраняет возникновения из-за наличия запаздывания устойчивых автоколебаний в конечной точке процесса стабилизации вблизи заданной траектории движения. Для устранения этого эффекта предлагается использовать метод компенсации запаздывания Бэсса [9], согласно которому необходимо, интегрируя в обратном времени систему (1), найти поверхность, отстоящую на время запаздывания от точек нулевого рассогласования, лежащих на программной траектории движения системы (1). Фактически, эта поверхность представляет собой трубку, внутри которой находится программная траектория.

Заключение

Предложенным в статье модальным синтезом линейных замкнутых стационарных систем с транспортным запаздыванием, оптимальным законом управления (3) по приведенной процедуре можно обеспечить в них требуемые динамические свойства. Процедура модального синтеза оптимального закона управления осуществляется на основе метода неопределенных коэффициентов. Для устранения возникновения из-за

наличия запаздывания устойчивых автоколебаний в конечной точке процесса стабилизации вблизи заданной траектории движения предлагается использовать метод компенсации запаздывания Бэсса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Системы автоматического управления с запаздыванием : учеб.пособие / Ю.Ю. Громов, Н.А. Земской, А.В. Лагутин, О.Г. Иванова, В.М. Тютюнник. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 76 с.
2. Янушевский, Р.Т. Управление объектами с запаздыванием / Р.Т. Янушевский. – М. : Наука, 1978. – 416 с.
3. Летов А.М. Аналитическое конструирование регуляторов // Автоматика и телемеханика. 1960. Т. 21. № 4., сс.436-441.
4. Kalman R. Contribution to the theory of optimal control/ R.Kalman // Bul.Soc.Mech.Mat. – 1960. Vol.12, No.2. – P.102-119.
5. Летов А.М. Некоторые нерешенные задачи теории автоматического управления/ А.М.Летов – М.: Наука, 1966. – 256с.
6. А.А.Стенин, О.И.Лисовиченко, М.М.Ткач, В.П.Пасько Модальный синтез оптимальных законов стабилизации линейных стационарных систем BulgarianJournalforEngineeringDesign, issue. Mechanical Engineering Faculty, Technical University-Sofia.№ 30, 2016.pp.11-16
7. Фельдман Л.П., Петренко А.І., Дмитрієва О.А. Чисельні методи в інформатиці. К.: Видавнича група BHV, 2006. – 480 с.
8. В.В. Григорьев, Н.В. Журавлёва, Г.В. Лукьянова, К.А. Сергеев Синтез систем автоматического управления методом модального управления. С-Пб: СПбГУ ИТМО, 2007. 108 с.
9. Bass R.W. Improved on-off Missile Stabilization // Jet Propulsion. – Vol.26. – 1956. – P.415-417.

Л.І. Цвіркун, А.В. Крісанова, Я.В. Панферова

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАВАНТАЖЕННЯ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ЯК ОБ'ЄКТА КОНТРОЛЮ

Анотація. Розглядається процес заповнення насипним вантажем конвеєрної стрічки вугільної шахти. Запропонована математична модель завантаження конвеєра і дослідженні її параметри з метою подальшої автоматизації із застосуванням систем відеоконтролю. Показано, що аналіз отриманих зображень стрічки дозволяє визначити ширину насипаного вугілля, а, отже, і завантаження конвеєра.

Ключові слова: модель, завантаження, стрічковий конвеєр, контроль.

Вступ

Конвеєрний транспорт — це найбільш продуктивний вид безперервного транспорту вугільних шахт. Він характерний простотою обслуговування і малими витратами на експлуатацію. В даний час на багатьох шахтах для транспортування вугілля від забоїв використовуються стрічкові конвеєри [1]. В процесі роботи конвеєрної лінії повинно забезпечуватися найбільш вигідне (за умовами економії електроенергії) співвідношення параметрів — «ступень завантаження стрічки - величина швидкості стрічки», не обмежуючи при цьому продуктивність забою. При зниженні завантаження лінії або відсутності вугілля на стрічці швидкість конвеєра повинна бути знижена. Це дозволяє знизити споживання електричної енергії за счет зменшення часу роботи конвеєрів вхолосту, а також підвищить термін їх служби. Для контролю завантаження стрічки можливо використовувати різні методи, як безпосереднього зважування вугілля на стрічці, так і непрямі. До непрямих методів контролю відносяться системи відеоконтролю технологічних процесів, які знаходять все більше застосування в багатьох галузях народного господарства, включаючи і вугільну промисловість [2].

Постановка завдання

Метою дослідження є аналіз процесу заповнення конвеєрної стрічки, розробка математичної моделі завантаження конвеєра насипним вантажем і дослідження її параметрів з метою подальшої автоматизації із застосуванням відеоконтроля.

Аналіз процесу заповнення конвеєрної стрічки

Стрічкові конвеєри є складовою частиною сучасного технологічного процесу транспортування вугілля на шахті.

Вугілля, яке транспортується, характеризуються такими властивостями: крупністю (розміром часток), міцністю, щільністю, абразивністю, вологістю, рухливістю часток тощо.

На ступень заповнення конвеєрної стрічки насипним вантажем (вугіллям) найбільше впливають: крупність, щільність та вологість [1].

Крупність характеризується найбільшими лінійними розмірами однорідних часток в заданому об'єму.

Щільністю вантажу називається відношення його маси до займаного об'єму.

Вологість насипного вантажу – це є відношення маси води, що міститься у вугіллі і видаляється висушуванням проби вантажу при температурі 105°C , до маси висушеного вантажу. Вологість визначається у відсотках.

Кутом природного відкосу насипного вантажу називається кут між твірною конуса з вільно насипаного вантажу і горизонтальною площиною. Цей кут залежить від взаємної рухливості частинок вантажу. При чому, при русі насипного вантажу кут природного відкосу знижується і дорівнює 0,45-0,5 до кута в спокої.

Вугілля кам'яне кускове має такі характеристики: насипна щільність – $0,65\text{-}0,8\text{ т/м}^3$, вологість (може змінюватись у великих межах в залежності від пори року, лави або шахти де проводиться видобуток вугілля тощо) – $65\text{-}90\%$, кут природного відкосу в спокої – $30\text{-}45^{\circ}$.

Продуктивність конвеєрів визначається кількістю вантажу, переміщуваного за одиницю часу. Кількість насипного вантажу може визначатися у об'ємних або масових одиницях виміру. Тому продуктивність може бути об'ємна або масова, а відповідно і заповнення конвеєра залежить від об'єма або маси вугілля, яке завантажене.

На вугільних шахтах застосовуються жолобчасті стрічкові конвеєри, тобто такі, які мають опорні ролики у вигляді жолоба.

Розглянемо процес заповнення такого конвеєра і як це можна контролювати. Поперечний переріз жолобчастого конвеєра з вугіллям на стрічці має вигляд [1], що представлений на рисунку 1, де:

$B_{стр.}$ - ширина конвеєрної стрічки;

B_1 - частина ширини стрічки, яка заповнена вантажем;

d - ширина насипного вантажу на жолобчастій стрічці, коли дивитися зверху;

a - ширина центральної частини жолобчастою стрічки (нижнього ролика);

b - ширина бічної частини жолобчастою стрічки, яка заповнена вантажем;

δ - кут нахилу бічних роликів конвеєрної стрічки;

φ - кут природного відкосу насипного вантажу на стрічці;

$h_{трп.}$ - висота трапеції насипного вантажу;

$h_{трик.}$ - висота трикутника насипного вантажу.

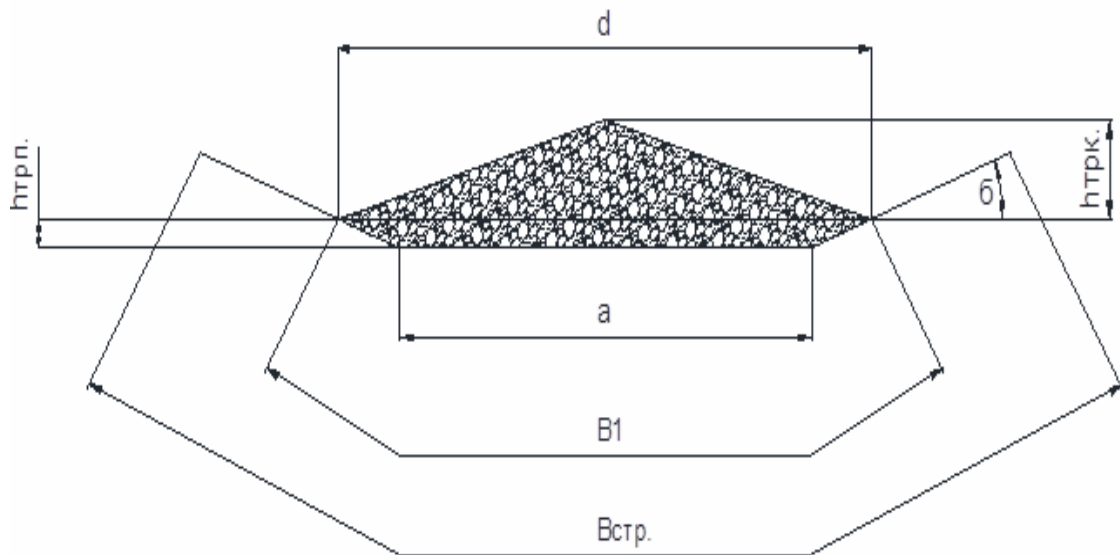


Рисунок 1 - Поперечний переріз жолобчастого конвеєра з вугіллям на стрічці

Математична модель завантаження конвеєра

Об'єм вугілля, що знаходиться на конвеєрі, характеризується площею перерізу насипного вантажу. Як видно з рисунку 1 площа перерізу насипного вантажу складається з площі трикутника $S_{\text{трк.}}$ і площі трапеції $S_{\text{трп.}}$.

Ці площі можна розрахувати таким чином:

$$S_{\text{трк.}} = \frac{1}{2} dh_{\text{трк.}}, \text{ м}^2 \quad (1)$$

$$S_{\text{трп.}} = \frac{a+d}{2} \cdot h_{\text{трп.}}, \text{ м}^2 \quad (2)$$

Загальна площа перерізу дорівнює сумі $S_{\text{заг.}} = S_{\text{трк.}} + S_{\text{трп.}}$, але заповнення жолобчастою стрічки складається з двох етапів. Тобто,

$$S_{\text{заг.}} = \begin{cases} \text{якщо } d \leq a, \text{ то} \\ \text{якщо } d > a, \text{ то} \end{cases}$$

$$S_{\text{заг.}} = S_{\text{заг.1}} = S_{\text{трк.}} + S_{\text{трп.}} = S_{\text{трк.}} + 0 = S_{\text{трк.}} = S_{\text{трк.}} = \frac{1}{2} dh_{\text{трк.}} \quad (3)$$

$$S_{\text{заг.}} = S_{\text{заг.2}} = S_{\text{трк.}} + S_{\text{трп.}} = \frac{d}{2} h_{\text{трк.}} + \frac{a+d}{2} \cdot h_{\text{трп.}}$$

Змінні $h_{\text{трк.}}$ і $h_{\text{трп.}}$ складно заміряти, тому спробуємо визначити загальну площу перерізу через ширину насипного вантажу d .

Для цього визначимо $h_{\text{трк.}}$ і $h_{\text{трп.}}$ через d . Так як

$$\text{tg}\varphi = \frac{h_{\text{трк.}}}{\frac{1}{2}d}, \text{ а } \text{tg}\delta = \frac{h_{\text{трп.}}}{\frac{d-a}{2}}, \text{ то } h_{\text{трк.}} = \frac{1}{2} d \text{tg}\varphi, \text{ } h_{\text{трп.}} = \frac{d-a}{2} \text{tg}\delta.$$

$$\text{Тоді } S_{\text{трк.}} = \frac{1}{2} d \frac{1}{2} d \text{tg}\varphi = \frac{1}{4} d^2 \text{tg}\varphi,$$

$$S_{\text{трп.}} = \frac{a+d}{2} \cdot \frac{d-a}{2} \text{tg}\delta = \frac{1}{4} (a+d)(d-a) \text{tg}\delta, \text{ а}$$

$$S_{\text{заг.1}} = S_{\text{трк.}} = \frac{1}{4} d^2 \text{tg}\varphi \quad (4)$$

$$S_{\text{заг.2}} = S_{\text{трк.}} + S_{\text{трп.}} = \frac{1}{4} d^2 \text{tg}\varphi + \frac{1}{4} (a+d)(d-a) \text{tg}\delta = \frac{1}{4} (d^2 \text{tg}\varphi + (a+d)(d-a) \text{tg}\delta) \quad (5)$$

Результати досліджень

Аналіз конвеєрних ліній вугільних шахт показує [3], що в них більша частина конвеєрних стрічок має ширину $B_{cnp.} = 1$ м.

З урахуванням формул 4 і 5 розглянемо процес заповнення такого жолобчастого конвеєра. У цих формулах змінні a і δ залежать від конструкції конвеєра і для розрахунків будуть константами, φ – залежить від властивості вугілля і на певний час може бути константою, а d – змінна, що характеризує ступень завантаження конвеєра.

Визначемо максимальне значення d . За нормативами [1]

$$B_{1max} = 0,9B_{cnp.} - 0,05 = 0,9 \times 1 - 0,05 = 0,85, \text{ м.}$$

На практиці оптимальне значення a і δ не застосовуються, а для спрощення конструкції роликів приймають $a = 0,5B_1$, $\delta = 20^\circ$.

Тому: $a = 0,5B_{1max} = 0,5 \times 0,85 = 0,425$, м.

Максимальну ширину бічної частини жолобчастою стрічки, яка заповнена вантажем, розрахуємо як

$$b_{max} = \frac{B_{1max} - a}{2}, \text{ м.}$$

Тоді максимальне значення змінної d (ширини насипного вантажу на жолобчастій стрічці, коли дивитися зверху) буде дорівнювати:

$$d_{max} = a + 2b_{max} \cos \delta = a + 2 \frac{B_{1max} - a}{2} \cos \delta = 0,425 + (0,85 - 0,425) \cos 20^\circ = 0,829 \text{ м.}$$

З урахуванням того, що кут природного відкосу кам'яного кускового вугілля в спокої дорівнює $30-45^\circ$, а кут на рухомій стрічці – $0,45-0,5$ до кута в спокої, розрахуємо мінімальний, максимальний і середній кути відкосу:

$$\varphi_{пyx.min} = 0,45 \times 30^\circ = 13,5^\circ, \quad \varphi_{пyx.cер.} = 13,5^\circ + 22,5^\circ = 18,0^\circ,$$

$$\varphi_{пyx.max} = 0,5 \times 45^\circ = 22,5^\circ.$$

Таким чином зміна теоретичної загальної площі перерізу жолобчастого конвеєра з шириною стрічки $B_{cnp.} = 1$ м. розраховується таким чином:

$$\varphi_{пyx.min} = 13,5^\circ \quad \varphi_{пyx.cер.} = 18,0^\circ \quad \varphi_{пyx.max} = 22,5^\circ$$

$$S_{заг.} = \begin{cases} \text{якщо } d \leq a, \text{ то} \\ \text{якщо } d > a, \text{ то} \end{cases}$$

$$S_{заг.} = S_{заг.1} = \frac{1}{4} d^2 tg\varphi = \frac{1}{4} d^2 tg\varphi$$

$$S_{заг.} = S_{заг.2} = \frac{1}{4} (d^2 tg\varphi + (0,425 + d)(d - 0,425)tg20^\circ)$$
(6)

Загальна площа перерізу стрічки з насипаним вугіллям характеризує заповнення жолобчастого конвеєра, а також безпосередньо впливає на продуктивність конвеєра.

Отримані залежності застосуємо для розрахунку завантаження стрічки в залежності від ширини (коли дивитися зверху) насипного вантажу (насипна щільність 725 кг/м^3) та кута природного відкосу і подамо у вигляді графіків на рисунку 2.

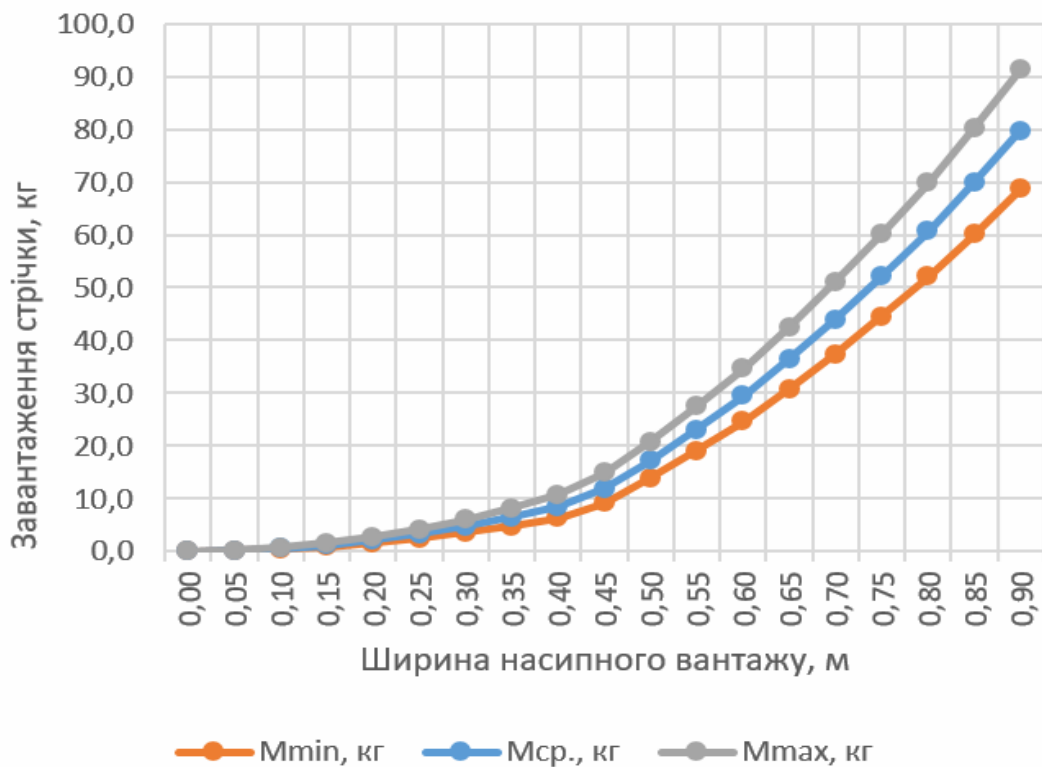


Рисунок 2 - Залежність завантаження стрічки конвеєра від ширини насипного вантажу для $\varphi_{пyx.min} = 13,5^\circ$, $\varphi_{пyx.cер.} = 18,0^\circ$, $\varphi_{пyx.max} = 22,5^\circ$

Як видно з графіків, визначаючи з отриманих зображень ширину насипаного вугілля, можна чітко визначати завантаження конвеєра.

Наприклад: для $d=0,01-0,4$ завантаження збільшується до 12,5%, для $d=0,4-0,65$ – до 43,8%, для $d=0,65-0,8$ – до 75%.

Висновки

1. Проведений аналіз методів контролю дозволив вибрати відеоконтроль, як найбільш ефективний для контролю завантаження конвеєрної стрічки.

2. Детальний розгляд параметрів та процесу заповнення дозволив розробити математичну модель завантаження конвеєра вугіллям з метою подальшої його автоматизації із застосуванням відеоконтроля.

ЛІТЕРАТУРА

1. Біліченко М.Я. Транспорт на гірничих підприємствах: Підручник для вузів / М.Я. Біліченко, Г.Г. Півняк, О.О. Ренгевич та ін., заг. ред. доп. та змін проф. М.Я. Біліченко. – 3-е вид., авт. доп., змін., кор. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. – 636 с. – ISBN 966-350-002-6.
2. Цвиркун Л.И. Разработка модели работы подсистемы отображения информации при видеоконтроле технологических процессов угольной шахты / Л.И. Цвиркун // Оптимизация производств. процессов. Сб. науч. тр. Севастоп. нац. техн. ун-т. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. – Вып.10. – С. 81-85.
3. Цвиркун Л.И. Топологическая оптимизация CAN-сети системы контроля конвейерных линий угольной шахты / Л.И. Цвиркун, Р.В. Липовой // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2009. – № 32. – С. 141-146.

А.А. Шумейко, В. Смородский

БЫСТРОЕ ДИСКРЕТНОЕ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СО СВОБОДНЫМ ФАЗОВЫМ СДВИГОМ

Аннотация. В статье рассмотрено использование дискретного быстрого тригонометрического преобразования с свободным фазовым сдвигом к задаче обработки изображения. Показано, что при всех равных условиях, это преобразование дает лучшие результаты, чем дискретное косинус-преобразование, используемое в методе JPEG.

Введение

Информатизация общества привела к существенному изменению уклада жизни. Сбои в работе интернета вызывают чуть-ли не панику, и ответ на вопрос – есть ли жизнь без интернета, совершенно адекватен – нет. На данный момент (по результатам 2015 года) компания Cisco оценивает общий поток трафика 72,426 exabytes в месяц [1] и при этом оценивает рост интернет-трафика на 23% ежегодно. Эксперты предрекают, что спрос со стороны пользователей уже в ближайшее время превысит возможности предложения. Связано это с ростом популярности таких генерирующих большие объемы трафика сервисов, как YouTube и BBC iPlayer, а также с тем, что все большее число людей работает онлайн. Разного рода эксперты предрекают, что пользователям все чаще придется иметь дело со сбоями в работе сети, поскольку свободная емкость киберпространства подходит к концу. Насколько эти апокалипсические прогнозы оправданы, покажет будущее, но что очевидно – так это то, что чем дальше, тем более актуальной задачей является сжатие таких ресурсоемких данных, как изображений и видео. Объем графической информации настолько велик, что при ее сжатии борются буквально за каждый байт, так как его хранение и передача стоит денег. По некоторым оценкам дополнительное сжатие хотя бы на 5% дает выигрыш в миллионы долларов [2]. Примерно та же ситуация сохраняется и при передаче изображений по каналам связи. Существующей пропускной способности

не хватает, чтобы в полной мере удовлетворить потребности пользователей. Все выше сказанное и определяет актуальность задачи сжатия изображений.

Среди методов сжатия изображений узловыми являются технологии, используемые семейством JPEG – JPEG2000 (см., например, [3]). При этом, несмотря на большие усилия направленные на замену JPEG на JPEG2000. JPEG де факто является стандартом для представления изображений во всемирной сети. Данная работа посвящена модификации JPEG с целью увеличения степени сжатия изображений без ухудшения качества изображения.

Основой JPEG является дискретное двумерное косинус-преобразование. Прямое преобразование имеет вид

$$D_{v,\mu} = \frac{1}{4} C_v C_\mu \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} d_{i,j} \cos\left(\frac{(2i+1)\pi v}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2j+1)\pi \mu}{2N}\right), v, \mu = 0, 1, \dots, N-1,$$

а обратное преобразование записывается следующим образом

$$d_{i,j} = \frac{1}{4} \sum_{v=0}^{N-1} \sum_{\mu=0}^{N-1} C_v C_\mu D_{v,\mu} \cos\left(\frac{(2i+1)\pi v}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2j+1)\pi \mu}{2N}\right), i, j = 0, 1, \dots, N-1,$$

$$\text{где } C_i = \begin{cases} 1/\sqrt{N}, & i = 0, \\ \sqrt{2/N}, & i > 0. \end{cases}$$

Дискретное тригонометрическое преобразование со свободным фазовым сдвигом

Авторами получено следующее утверждение.

Теорема. Пусть $\phi \in \left(0, \frac{\pi}{2}\right)$, тогда для любых $\{h_m\}_{m=0}^{N-1}$ таких, что $-\infty < h_m < \infty, m = 0, 1, \dots, N-1$ положим

$$H_k = \sum_{m=0}^{N-1} h_m \cos\left(\frac{2\pi mk}{N} - \phi\right); \quad (1)$$

имеет место равенство

$$h_n = \frac{2}{N \sin(2\phi)} \sum_{k=0}^{N-1} H_k \sin\left(\frac{2\pi nk}{N} + \phi\right). \quad (2)$$

Заметим, что варьируя фазовым сдвигом ϕ , можно добиваться улучшения качества восстановления исходных данных в случае, если частотные коэффициенты подвергаются искажениям.

Приведем несколько примеров.

Пусть $N = 4$, тогда для исходных данных $\{h_0, h_1, h_2, h_3\}$

$$H_0 = (h_0 + h_1 + h_2 + h_3) \cos \phi, H_1 = (h_0 - h_2) \cos \phi + (h_1 - h_3) \sin \phi,$$

$$H_2 = (h_0 - h_1 + h_2 - h_3) \cos \phi, H_3 = (h_0 - h_2) \cos \phi - (h_1 - h_3) \sin \phi.$$

Пусть, в этом случае, $h_1 \neq h_3$ и $h_0 \neq h_2$ положим $H_3 = 0$, тогда, выбирая

$$\phi = \arctg \left(\frac{h_0 - h_2}{h_1 - h_3} \right) \quad (3)$$

получим полное восстановление данных $\{h_0, h_1, h_2, h_3\}$.

Действительно, проводя обратное преобразование, с учетом $H_3 = 0$, получаем

$$h_0 = \frac{3h_0 \cos \phi + h_1 \sin \phi + h_2 \cos \phi - h_3 \sin \phi}{4 \cos \phi}, \quad (4)$$

$$h_1 = \frac{h_0 \cos \phi + 3h_1 \sin \phi - h_2 \cos \phi + h_3 \sin \phi}{4 \sin \phi}, \quad (5)$$

$$h_2 = \frac{h_0 \cos \phi - h_1 \sin \phi + 3h_2 \cos \phi + h_3 \sin \phi}{4 \cos \phi}, \quad (6)$$

$$h_3 = \frac{-h_0 \cos \phi + h_1 \sin \phi + h_2 \cos \phi + 3h_3 \sin \phi}{4 \sin \phi}. \quad (7)$$

Тогда, с учетом (3), из (4) получаем

$$\begin{aligned} h_0 &= \frac{3h_0 \cos \phi + h_1 \sin \phi + h_2 \cos \phi - h_3 \sin \phi}{4 \cos \phi} = \frac{1}{4} (3h_0 + h_1 \operatorname{tg} \phi + h_2 - h_3 \operatorname{tg} \phi) = \\ &= \frac{3h_0 + h_2 + (h_1 - h_3) \operatorname{tg} \phi}{4} = \frac{1}{4} \left(3h_0 + h_2 + (h_1 - h_3) \frac{h_0 - h_2}{h_1 - h_3} \right) = h_0. \end{aligned}$$

Аналогично, раскрывая соотношения (6)-(7) с учетом (2), получаем точную реконструкцию данных $\{h_0, h_1, h_2, h_3\}$.

Проводя такие же преобразования для $N = 8$ и при $(h_1 - h_3 + h_5 - h_7)(h_0 - h_2 + h_4 - h_6) \neq 0$, положим $H_6 = 0$, тогда выбирая

$$\phi = \arctg \left(\frac{h_0 - h_2 + h_4 - h_6}{h_1 - h_3 + h_5 - h_7} \right)$$

получим полное восстановление данных $\{h_0, h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7\}$.

Если же $H_7 = 0$, при условии

$$(h_1 + h_2\sqrt{2} + h_3 - h_5 - h_6\sqrt{2} - h_7)(h_0\sqrt{2} + h_1 - h_3 - h_4\sqrt{2} - h_5 + h_7) \neq 0$$

выбирая $\phi = \arctg\left(\frac{h_0\sqrt{2} + h_1 - h_3 - h_4\sqrt{2} - h_5 + h_7}{h_1 + h_2\sqrt{2} + h_3 - h_5 - h_6\sqrt{2} - h_7}\right)$

также получим полное восстановление данных $\{h_0, h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7\}$.

Использование возможности использования фазового сдвига для улучшения восстановления данных позволяет на основании полученного дискретного преобразования строить адаптивные фильтры, подстраивая фильтр не только для входных данных, но и, например, для используемого метода квантования или природы шума, вносящего искажения в сигнал.

Пусть для заданного N вместо $H_k (k = 1, 2, \dots, N-1)$ имеем их приближенные значения $\tilde{H}_k (k = 1, 2, \dots, N-1)$

Получим восстановление исходных данных

$$\tilde{h}_n = \frac{2}{N \sin(2\phi)} \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{H}_k \sin\left(\frac{2\pi nk}{N} + \phi\right)$$

и вычислим ошибку восстановления

$$\varepsilon(\phi) = \sum_{n=0}^{N-1} (h_n - \tilde{h}_n)^2 = \sum_{n=0}^{N-1} \left(h_n - \frac{2}{N \sin(2\phi)} \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{H}_k \sin\left(\frac{2\pi nk}{N} + \phi\right) \right)^2$$

и найдем производную

$$\frac{d}{d\phi} \varepsilon(\phi) = -\frac{4}{N \sin(2\phi)} \sum_{n=0}^{N-1} \left(h_n - \frac{2}{N \sin(2\phi)} \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{H}_k \sin\left(\frac{2\pi nk}{N} + \phi\right) \right) \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{H}_k \cos\left(\frac{2\pi nk}{N} + \phi\right)$$

Решая уравнение

$$\sum_{n=0}^{N-1} \left(N \sin(2\phi) h_n - 2 \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{H}_k \sin\left(\frac{2\pi nk}{N} + \phi\right) \right) \sum_{k=0}^{N-1} \tilde{H}_k \cos\left(\frac{2\pi nk}{N} + \phi\right) = 0$$

найдем решение $\phi_0 \in \left(0, \frac{\pi}{2}\right)$, если же такого решения нет, то решение лежит на границе, то есть - дискретное косинус-преобразование или преобразование Хартли.

Одной из популярных сфер использования дискретного косинус-преобразования есть обработка двумерных сигналов, то есть изображений. Например, один из наиболее популярных методов сжатия

изображений – JPEG основан на использовании ДКТ на квадратах $N \times N$ пикселей, где $N=8$

$$c_{i,j}^k = \frac{2}{N} C_i C_j \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} p_{n,m} \cos\left(\frac{(2n+1)i\pi}{2N}\right) \cos\left(\frac{(2m+1)j\pi}{2N}\right),$$

где $C_i = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & i = 0, \\ 1. & i > 0. \end{cases}$

достаточно неплохо себя зарекомендовало двумерное дискретное преобразование Хартли

$$h_{i,j}^k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} p_{n,m} \operatorname{cas}\left(\frac{2in\pi}{N}\right) \operatorname{cas}\left(\frac{2jm\pi}{N}\right), \text{ здесь } \operatorname{cas}\phi = \cos\phi + \sin\phi.$$

Дискретное тригонометрическое преобразование со свободным фазовым сдвигом выглядит следующим образом – прямой ход

$$h_{i,j} = \frac{2}{N \sin(2\phi)} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{N-1} p_{n,m} \cos\left(\frac{2\pi in}{N} - \phi\right) \cos\left(\frac{2\pi jm}{N} - \psi\right),$$

и обратный ход

$$p_{n,m} = \frac{2}{N \sin(2\psi)} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} h_{i,j} \sin\left(\frac{2\pi in}{N} + \psi\right) \sin\left(\frac{2\pi jm}{N} + \phi\right).$$

Заметим, что для данного тригонометрического преобразования существует быстрое преобразование. Приведем быстрый алгоритм для случая $N=8$.

Нетрудно видеть, что для $N=8$

$$\begin{aligned} H_0 &= (h_0 + h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7) \cos\phi, \\ H_1 &= \left(h_0 - h_4 + (h_1 - h_3 - h_5 + h_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \cos\phi + \left(h_2 - h_6 + (h_1 + h_3 - h_5 - h_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \sin\phi, \\ H_2 &= (h_0 - h_2 + h_4 - h_6) \cos\phi + (h_1 - h_3 + h_5 - h_7) \sin\phi, \\ H_3 &= \left(h_0 - h_4 - (h_1 - h_3 - h_5 + h_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \cos\phi + \left(-h_2 + h_6 + (h_1 + h_3 - h_5 - h_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \sin\phi, \\ H_4 &= (h_0 - h_1 + h_2 - h_3 + h_4 - h_5 + h_6 - h_7) \cos\phi, \\ H_5 &= \left(h_0 - h_4 - (h_1 - h_3 - h_5 + h_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \cos\phi + \left(h_2 - h_6 - (h_1 + h_3 - h_5 - h_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \sin\phi, \end{aligned}$$

$$H_6 = (h_0 - h_2 + h_4 - h_6) \cos \phi - (h_1 - h_3 + h_5 - h_7) \sin \phi,$$

$$H_7 = \left(h_0 - h_4 + (h_1 - h_3 - h_5 + h_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \cos \phi + \left(-h_2 + h_6 - (h_1 + h_3 - h_5 - h_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \sin \phi.$$

Обратное преобразование можно записать в виде

$$h_0 = K \left((H_0 + H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 + H_7) \sin \phi \right),$$

$$h_1 = K \left(\left(H_0 - H_4 + (H_1 - H_3 - H_5 + H_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \sin \phi + \left(H_2 - H_6 + (H_1 + H_3 - H_5 - H_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \cos \phi \right),$$

$$h_2 = K \left((H_0 - H_2 + H_4 - H_6) \sin \phi + (H_1 - H_3 + H_5 - H_7) \cos \phi \right),$$

$$h_3 = K \left(\left(H_0 - H_4 - (H_1 - H_3 - H_5 + H_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \sin \phi + \left(-H_2 + H_6 + (H_1 + H_3 - H_5 - H_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \cos \phi \right),$$

$$h_4 = K \left((H_0 - H_1 + H_2 - H_3 + H_4 - H_5 + H_6 - H_7) \sin \phi \right),$$

$$h_5 = K \left(\left(H_0 - H_4 - (H_1 - H_3 - H_5 + H_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \sin \phi + \left(H_2 - H_6 - (H_1 + H_3 - H_5 - H_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \cos \phi \right),$$

$$h_6 = K \left((H_0 - H_2 + H_4 - H_6) \sin \phi - (H_1 - H_3 + H_5 - H_7) \cos \phi \right),$$

$$h_7 = K \left(\left(H_0 - H_4 + (H_1 - H_3 - H_5 + H_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \sin \phi + \left(-H_2 + H_6 - (H_1 + H_3 - H_5 - H_7) \frac{\sqrt{2}}{2} \right) \cos \phi \right),$$

где $K = (8 \sin \phi \cos \phi)^{-1}$.

Количество арифметических операций можно сократить, введя следующие построения.

Положим

$$a_0 = h_0 - h_4, a_1 = h_2 - h_6, a_2 = h_1 - h_3 - h_5 + h_7, a_3 = h_1 + h_3 - h_5 - h_7,$$

$$a_4 = h_0 - h_2 + h_4 - h_6, a_5 = h_1 - h_3 + h_5 - h_7, a_6 = h_0 + h_2 + h_4 + h_6,$$

$$a_7 = h_1 + h_3 + h_5 + h_7, b_2 = \frac{a_2}{\sqrt{2}}, b_3 = \frac{a_3}{\sqrt{2}},$$

$$c_0 = a_0 + b_2, c_1 = a_0 - b_2, c_2 = a_1 + b_3, c_3 = a_1 - b_3.$$

Тогда быстрый алгоритм дискретного тригонометрического преобразования можно записать в виде

$$H_0 = (a_6 + a_7) \cos \phi, H_1 = c_0 \cos \phi + c_2 \sin \phi, H_2 = a_4 \cos \phi + a_5 \sin \phi,$$

$$H_3 = c_1 \cos \phi - c_3 \sin \phi, H_4 = (a_6 - a_7) \cos \phi, H_5 = c_1 \cos \phi + c_3 \sin \phi,$$

$$H_6 = a_4 \cos \phi - a_5 \sin \phi, H_7 = c_0 \cos \phi - c_2 \sin \phi.$$

Без оптимизации дискретное тригонометрическое преобразование использует 56 суммирований, 64 вычитания, 256 умножений, 64 деления и 64 вычисления тригонометрических функций. Быстрый

алгоритм использует 16 суммирований, 16 вычитаний, 14 умножений, два деления, одно вычисление квадратного корня и два вычисления тригонометрических функций (при этом следует заметить, что вместо вычисления квадратного корня из двух, можно использовать константу, равную этому значению).

Выпишем быстрое обратное преобразование.

$$A_0 = H_0 - H_4, A_1 = H_2 - H_6, A_2 = H_1 - H_3 - H_5 + H_7,$$

$$A_3 = H_1 + H_3 - H_5 - H_7,$$

$$A_4 = H_0 - H_2 + H_4 - H_6, A_5 = H_1 - H_3 + H_5 - H_7,$$

$$A_6 = H_0 + H_2 + H_4 + H_6, A_7 = H_1 + H_3 + H_5 + H_7,$$

$$B_2 = \frac{A_2}{\sqrt{2}}, B_3 = \frac{A_3}{\sqrt{2}},$$

$$C_0 = A_0 + B_2, C_1 = A_0 - B_2, C_2 = A_1 + B_3, C_3 = A_1 - B_3.$$

Тогда

$$h_0 = K(A_6 + A_7) \sin \phi, h_1 = K(C_0 \sin \phi + C_2 \cos \phi),$$

$$h_2 = K(A_4 \sin \phi + A_5 \cos \phi),$$

$$h_3 = K(C_1 \sin \phi - C_3 \cos \phi), h_4 = K(A_6 - A_7) \sin \phi,$$

$$h_5 = K(C_1 \sin \phi + C_3 \cos \phi),$$

$$h_6 = K(A_4 \sin \phi - A_5 \cos \phi), h_7 = K(C_0 \sin \phi - C_2 \cos \phi),$$

где $K = (8 \sin \phi \cos \phi)^{-1}$.

Без оптимизации обратное дискретное тригонометрическое преобразование использует 56 суммирований, 64 вычитания, 265 умножений, 65 делений и 65 вычислений тригонометрических функций. Быстрый алгоритм использует 16 суммирований, 16 вычитаний, 24 умножения, три деления, одно вычисление квадратного корня и два вычисления тригонометрических функций.

Результаты численных экспериментов.

По результатам исследований, были проведены численные эксперименты.

В качестве критерия оценки восстановления оригинального изображения $I(i, j)$ изображением $K(i, j)$, $(i = 0, 1, \dots, m - 1, j = 0, 1, \dots, n - 1)$, обработанным с использованием дис-

$$MSE = \frac{1}{nm} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |I(i, j) - K(i, j)|^2$$

Для тестирования были взяты изображения тестовой базы TID2008 фирмы Kodak [7].

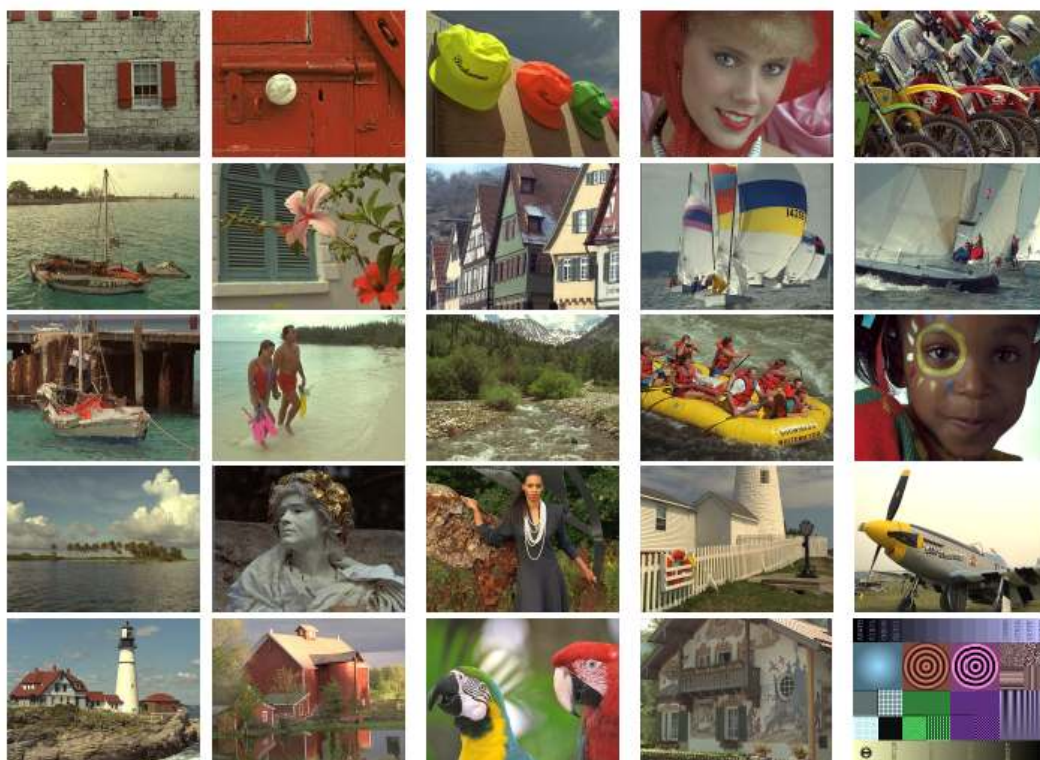


Рисунок 1 - Тестовые изображения (тестовой базы TID2008)

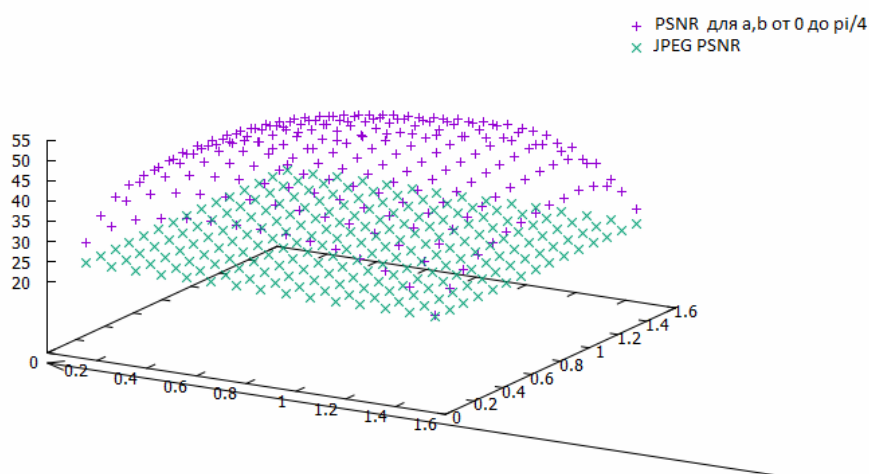


Рисунок 2 - Результат тестирования для портретного снимка

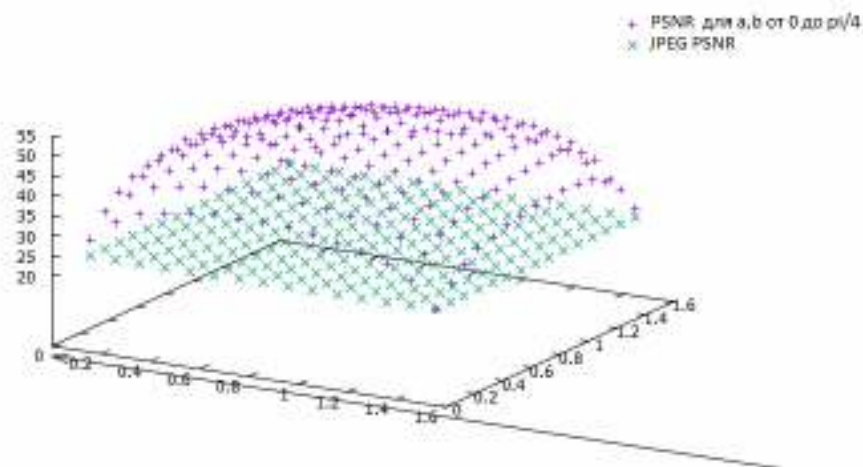


Рисунок 3 - Результат тестирования для пейзажного снимка

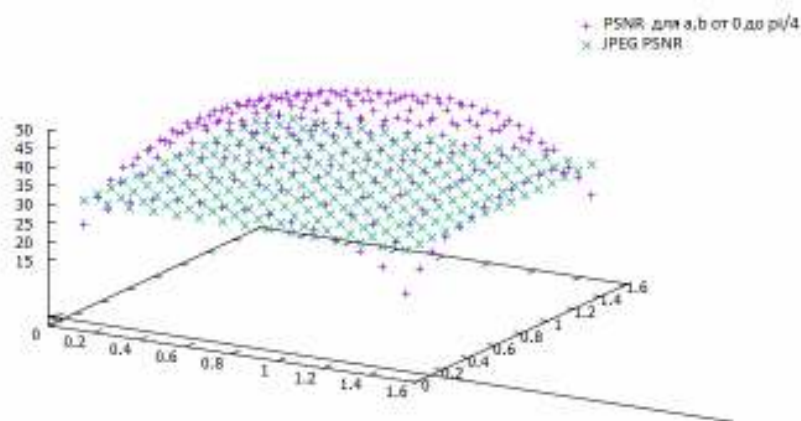


Рисунок 4 - Результат тестирования для синтетического изображения

Результаты экспериментов показывают, что оптимальные значения фазовых сдвигов лежат в области $(0, \pi/4) \times (0, \pi/4)$, то есть лучше, чем преобразование Хартли (точка $\pi/4, \pi/4$) или дискретное косинус-преобразование (фазовые сдвиги равны нулю).

Выводы

На основании изложенных результатов следует, что использование дискретного тригонометрического преобразования позволяет получить метод сжатия изображений превышающий JPEG как по степени сжатия, так и по качеству восстановленных изображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-481360_ns827_Networking_Solutions_White_Paper.html
2. <http://sernam.ru/>
3. Лигун А.О. Комп'ютерна графіка (обробка та стиск зображень):навч.посіб./ А.О.Лигун, О.О.Шумейко.-Д.:Біла К.О., 2010.- 114 с.
4. R.V.L. Hartley, "A more symmetrical Fourier analysis applied to transmission problems," Proc. IRE 30, 144–150 (1942).
5. Брейсуэлл Р. Преобразование Хартли.М.:Мир, 1990.- 175 с.
6. Сергеев В.В., Усачев А.В. Преобразование Хартли в задачах цифровой обработки двумерных сигналов // Компьютерная оптика. - М.: МЦНТИ, 1992. - Вып.10-11. - С.168-177.
7. <http://www.computervisiononline.com/dataset/tid2008-tampere-image-database-2008>

В.Ф. Балакін, І.А. Соловйова, Ю.М. Николаєнко, К.С. Білан
**ПРОЕКТУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ МАРШРУТІВ
ВИРОБНИЦТВА ХОЛОДНОДЕФОРМОВАНИХ ТРУБ**

Анотація. Розроблені алгоритм та програмне забезпечення, що вирішує питання проектування комбінованих маршрутів виробництва холоднодеформованих труб на базі математичних моделей процесів деформації.

Ключові слова: область застосування, обладнання, деформація, математична модель, заготовка, труба, програмне забезпечення.

Постановка проблеми. Багатоциклічність процесів виробництва холоднодеформованих труб одних і тих же видів, та розмірів призводить до використання різних технологічних схем їх виготовлення, із заготовки різних розмірів за різне число циклів деформації. Під час проектування варіантів маршрутів виробництва холоднодеформованих труб необхідно задовольняти наступним вимогам:

- використовувати на кожному проході маршруту всі можливі варіанти устаткування для холодної деформації металу;
- обмежуватися уніфікованими розмірами діаметрів та товщини стінки заготовок;
- розміри вихідної заготовки обмежувати сортаментом заготовок;
- використовувати режими деформації, що забезпечують максимальне використання пластичних властивостей металу.

Мета роботи – розробка алгоритму та програмного забезпечення проектування маршрутів виробництва холоднодеформованих труб при використанні розроблених на кафедрі технологічного проектування НМетАУ математичних моделей процесів деформації.

Для вибору способів деформації при проектуванні маршрутів побудовані зони застосовності будь-якого способу деформації з урахуванням відповідного типорозміру обладнання [1].

Області застосування обладнання (рис. 1, 2) для виробництва холоднодеформованих труб розраховані та представлені в програмі діапазонами, що наведені в табл. 1.

При розробці математичних моделей використані визначені допустимі параметри деформації, які відповідають переліченим вимогам та представлені регресійними моделями [2-5]. На підставі цього розроблені алгоритм та програма, яка розраховує маршрути виробництва холоднодеформованих труб.

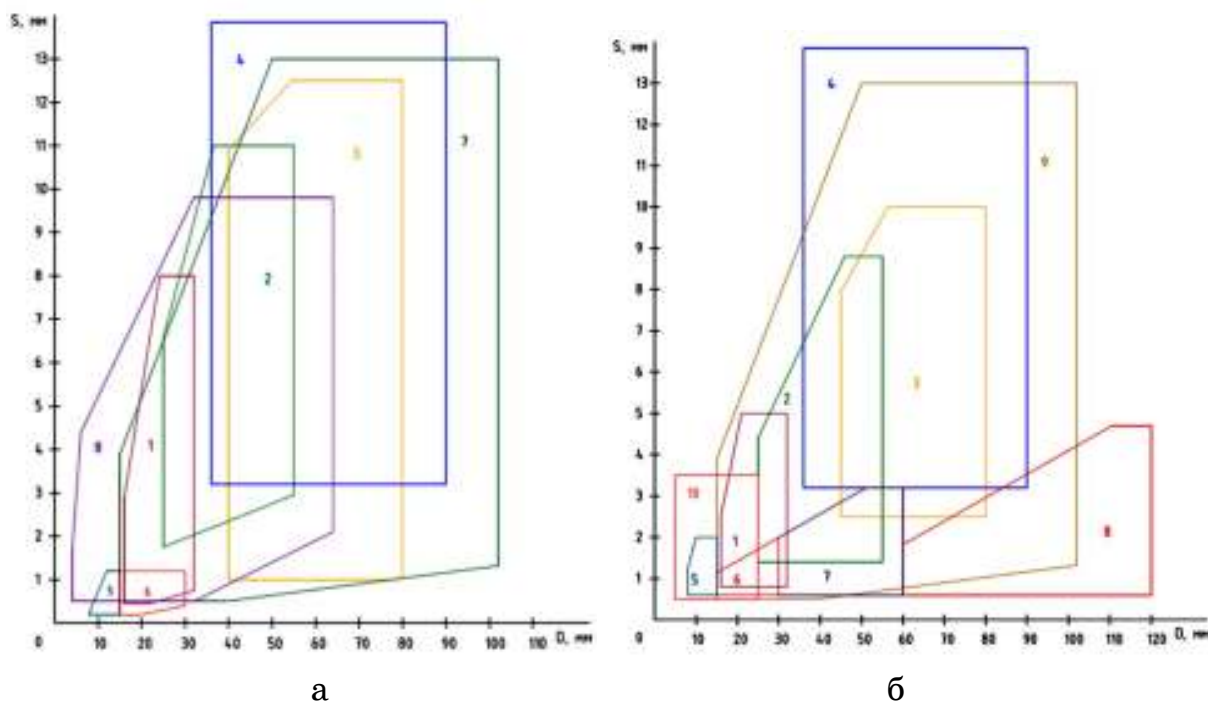


Рисунок 1 – Області застосування обладнання для виробництва холоднодеформованих труб із вуглецевих сталей (а) та з нержавіючої сталі (б): 1 – ХПТ-32; 2 – ХПТ-55; 3 – ХПТ-75; 4 – ХПТ-90; 5 – ХПТР 8-15; 6 – ХПТР 15-30; 7 – оправочне волочіння; 8 – безоправочне волочіння; 9 – ХПТР 30-60; 10 – ХПТР 60-120

Області застосування обладнання для виробництва
холоднодеформованих труб

Тип обладнання	Вуглецеві сталі	Нержавіючі сталі
1	2	3
ХПТ-32	$\begin{cases} 0,45 \leq S \leq 8 \\ 16 \leq D \leq 32 \\ S \geq 0,03 \cdot D - 0,21 \\ S \leq 0,63 \cdot D - 7,19 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,8 \leq S \leq 5 \\ 16 \leq D \leq 32 \\ S \leq 0,5 \cdot D - 5,5 \end{cases}$
ХПТ-55	$\begin{cases} 0,85 \leq S \leq 11 \\ 25 \leq D \leq 55 \\ S \geq 0,04 \cdot D + 0,75 \\ S \leq 0,38 \cdot D - 2,92 \end{cases}$	$\begin{cases} 1,4 \leq S \leq 8,8 \\ 25 \leq D \leq 55 \\ S \leq 0,21 \cdot D - 0,84 \end{cases}$
ХПТ-75	$\begin{cases} 1 \leq S \leq 12,5 \\ 40 \leq D \leq 80 \\ S \geq 0,03 \cdot D - 1,34 \\ S \leq 0,11 \cdot D + 6,5 \end{cases}$	$\begin{cases} 2,5 \leq S \leq 10 \\ 40 \leq D \leq 80 \\ S \leq 0,18 \cdot D - 0,15 \end{cases}$
ХПТ-90	$\begin{cases} 3,2 \leq S \leq 16 \\ 36 \leq D \leq 90 \end{cases}$	
ХПТР 8-15	$\begin{cases} 0,19 \leq S \leq 1,2 \\ 8 \leq D \leq 15 \\ S \leq 0,238 \cdot D - 1,65 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,6 \leq S \leq 2 \\ 8 \leq D \leq 15 \\ S \leq 0,375 \cdot D - 1,75 \end{cases}$
ХПТР 30-60	Не виробляються	$\begin{cases} 0,6 \leq S \leq 3,2 \\ 30 \leq D \leq 60 \\ S \leq 0,057 \cdot D + 0,285 \end{cases}$
ХПТР 60-120	Не виробляються	$\begin{cases} 0,6 \leq S \leq 4,7 \\ 60 \leq D \leq 120 \\ S \leq 0,057 \cdot D - 1,6 \end{cases}$
Оправочне волочіння (волочіння на корот- кій та самовстанов- люючій оправці)	$\begin{cases} 0,5 \leq S \leq 13 \\ 15 \leq D \leq 102 \\ S \geq 0,013 \cdot D - 0,014 \\ S \leq 0,26 \cdot D \end{cases}$	
Безоправочне воло- чіння	$\begin{cases} 0,5 \leq S \leq 3,5 \\ 5 \leq D \leq 25 \end{cases}$	$\begin{cases} 0,5 \leq S \leq 9,8 \\ 4 \leq D \leq 64 \\ S \geq 0,05 \cdot D - 1,1 \\ S \leq 1,35 \cdot D - 3,7 \\ S \leq 0,208 \cdot D + 3,15 \end{cases}$

Головна форма програми (рис. 3) дозволяє відкрити вікна введення вхідних даних (рис. 4) та розрахунку маршруту (рис. 5), а також ознайомитися з інформацією, що може допомогти при викорис-

танні програми: продивитись алгоритми розрахунку деформації за прохід; критерії оцінки оптимальності маршрутів; інструкцію користувача; тривимірні моделі основного обладнання.



Рисунок 2 – Головна форма програми

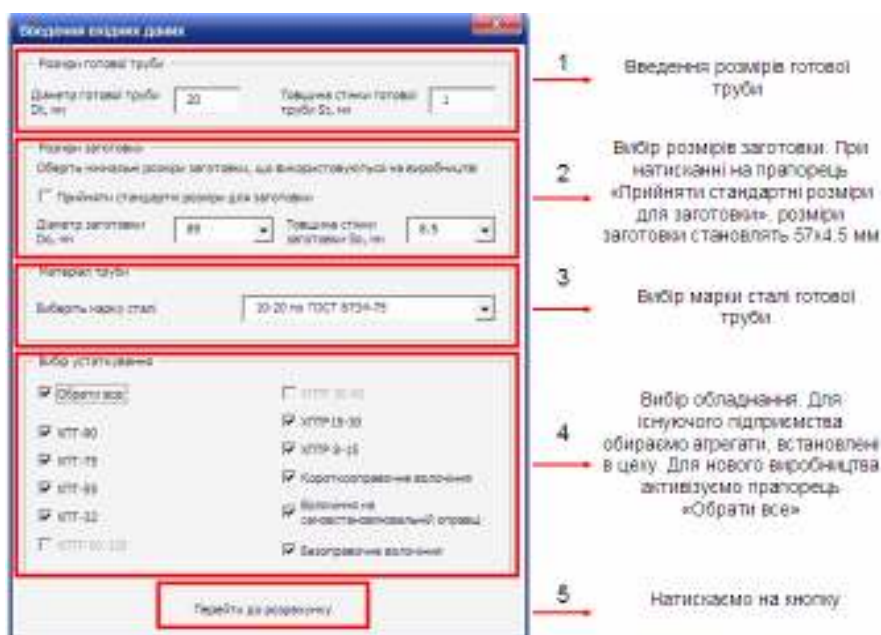


Рисунок 3 – Форма «Введення вхідних даних»

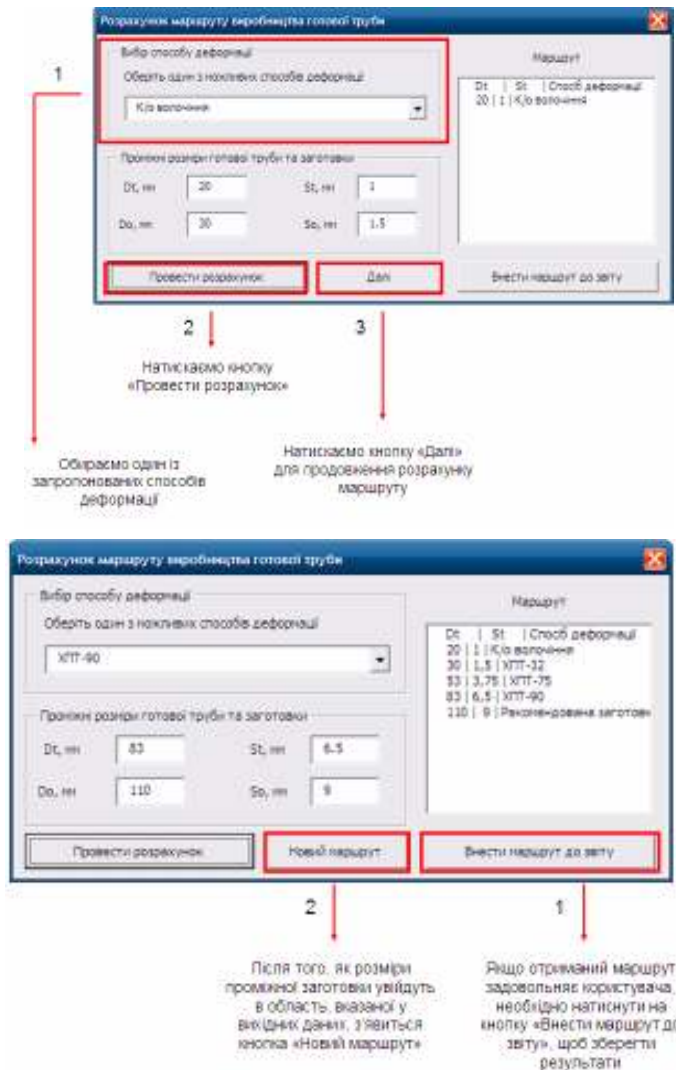


Рисунок 4 – Форма «Розрахунок маршруту виробництва готової труби»

Користувачеві необхідно вказати розміри готової труби та вибрати одним із способів введення мінімальної заготовки, що використовується на виробництві. Перший спосіб – прийняти стандартні розміри заготовки, прийняті в програмі (57Ч4,5 мм). Другий спосіб – вибрати зі списку типорозмір заготовки вручну. Потім необхідно вказати марку сталі, з якої виготовляється труба та вибрати обладнання, яке є в наявності на виробництві, або натиснути на прапорець «Обрати все» при проектуванні нової технології.

При відкритті форми формується список можливих способів деформації готової труби відповідно до областей застосування (див. рис. 1, 2) Процес буде продовжуватись до тих пір, доки розміри проміжної заготовки не потраплять в область заготовки, вказаної у вхід-

них даних. Після цього буде сформовано звіт про новий маршрут (рис. 6) та побудована діаграма, яка демонструє графо-аналітичний спосіб побудови заданого маршруту (рис. 7).

Звіт збережених маршрутів

Розміри готової труби		20x1	
Марка сталі		10-20 по ГОСТ 8734-75	
Дата		21.02.2017	

№п/п	D, мм	S, мм	Спосіб деформації	№п/п	D, мм	S, мм	Спосіб деформації	№п/п	D, мм	S, мм	Спосіб деформації
0	76	6,5	Рекомендована заготовка	0	76	6	Рекомендована заготовка	0	65	5	Рекомендована заготовка
1	47	3,75	ХПТ-75	1	48	4	ХПТ-55	1	37	3	ХПТ-55
2	24	1,5	ХПТ-32	2	25	1,7	ХПТ-32	2	20	1	ХПТ-32
3	20	1	К/о волочіння	3	20	1	Волочіння на с/в оправці				

Відкрити головну форму

Перегляд діаграми

Рисунок 6 – Звіт нового маршруту

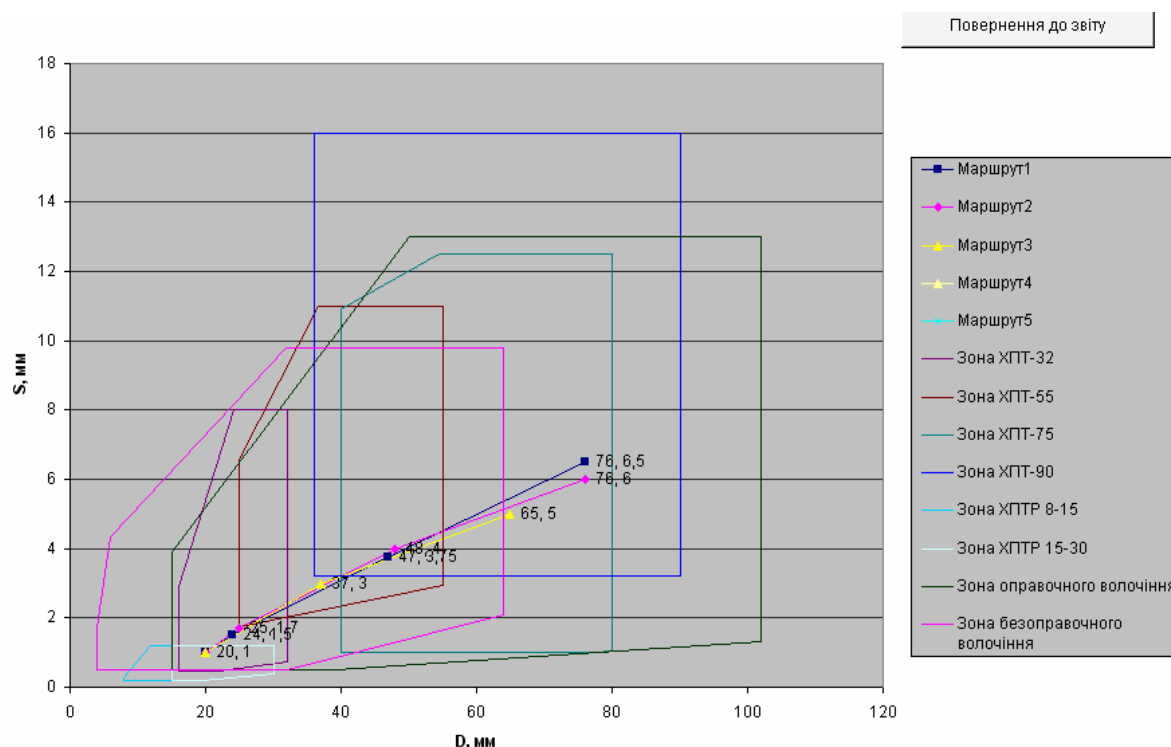


Рисунок 7 – Графо-аналітичний спосіб побудови заданого маршруту

Тривимірні моделі основного обладнання для виробництва холоднодеформованих труб з візуальним супроводженням наведені на рис. 8.

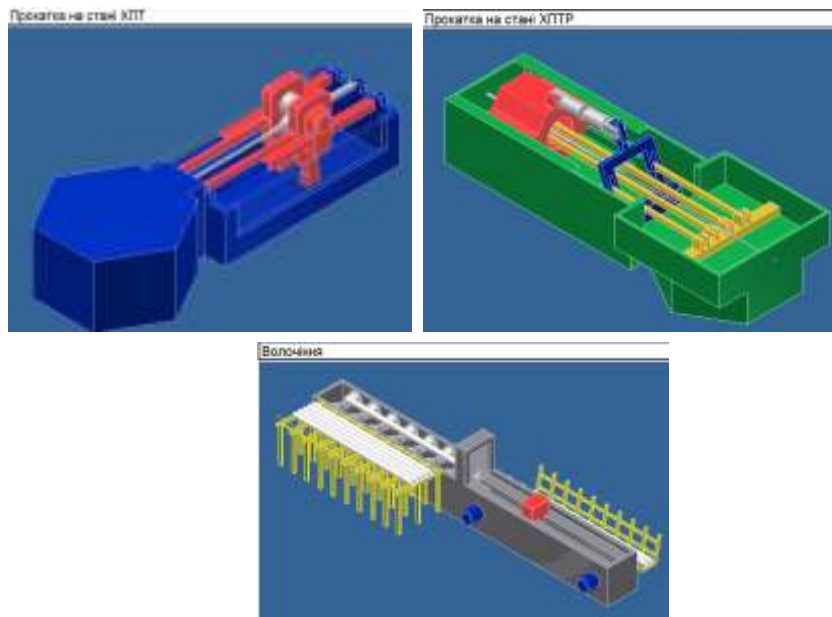


Рисунок 8 – Тривимірні моделі основного обладнання з візуальним супроводженням

Висновки. Розроблена програма вирішує питання не тільки проектування маршрутів виробництва холоднодеформованих труб, а і методичного та візуального (рис. 8) супроводження розрахунків та може бути використана на підприємстві та в учбовому процесі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Соловьева И.А. Разработка многовариантной технологии, исследование и внедрение рациональных режимов производства холоднодеформированных труб: дис. ... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1987.
2. Разработка алгоритмов и программного обеспечения расчета параметров производства холоднодеформированных труб прокаткой на станах ХПТР / В.Ф. Балакин, О.Н. Земляная, И.А. Соловьева, Ю.Н. Николаенко // X международная научно-техническая конф., «Пластичная деформация металлов», 19-23 мая 2014 р., м. Днепропетровск. – 2014. – Т. 2. – С. 215-218.
3. Балакин, В.Ф. Проектирование маршрутов безоправочного волочения на основе уточненной математической модели / И.А. Соловьева, О.В. Сергеева, А.С. Голубицкий, Н.А. Кащенко // Теория и практика металлургии. – 2012. – №1-2. – С.60-64.
4. Анализ существующих режимов деформации при волочении и разработке рекомендаций по их оптимизации: отчет о НИР / ДМетИ; рук. Кучеренко В.Р.; исполн. Соловьева И.А. [др.]. – Днепропетровск, 1976. – 91 с.
5. Усовершенствование методики и разработка программного обеспечения расчета маршрутов и технологических карт производства труб оправочным волочением. В.Ф. Балакин, И.А. Соловьева, Ю.Н. Николаенко, А.А. Байримов // Системні технології. – 2016. – Вип. 4. – С.97-101.

К.Ю. Островська, Є.В. Островський

РОЗРОБКА МОДУЛЮ РОЗШИРЕННЯ КЕРУВАННЯ МАКРОСАМИ ДЛЯ MICROSOFT EXCEL ЗАСОБАМИ C#

Анотація. Розроблено модуль розширення керування макросами для Microsoft Excel засобами C#, який дозволяє запускати макроси з використанням вхідних параметрів та керувати переліком макросів які знаходяться в документі.

Ключові слова: розробка, формат, Excel-DNA, мова, засоби, макрос, модуль, параметри, Microsoft Excel, функції користувача.

Microsoft Excel - це набагато більше, ніж просто електронна таблиця. З моменту впровадження в Excel 97 редактора Visual Basic і підвищення стабільності його роботи в Excel 2000. Ця програма стала надійною системою розробки додатків електронних таблиць. Програми, написані з використанням Excel, поряд з додатками Visual Basic, C ++, Java, .NET і т.д., включаються в базовий набір засобів, що застосовуються для поліпшення функціональних можливостей основних програмних продуктів [1].

Розробка модулю

Для початку необхідно завантажити необхідні нам бібліотеки:

1. Excel-DNA.

<https://exceldna.codeplex.com/releases/view/616591>

Excel-DNA - це незалежний проект для інтеграції .NET рішень в MS Excel [1, 2].

Створення проекту. Запускаємо Visual Studio 2012 і створюємо проект, рисунок 1.

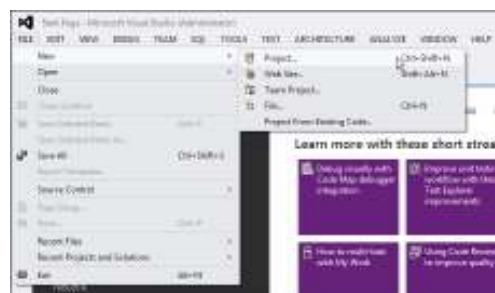


Рисунок 1 – Створити проект

У вікні майстра, вибираємо шаблон Templates / Windows. І тип проекту Class Library. Задаємо ім'я нашого проекту MacroSelector, рисунок 2.

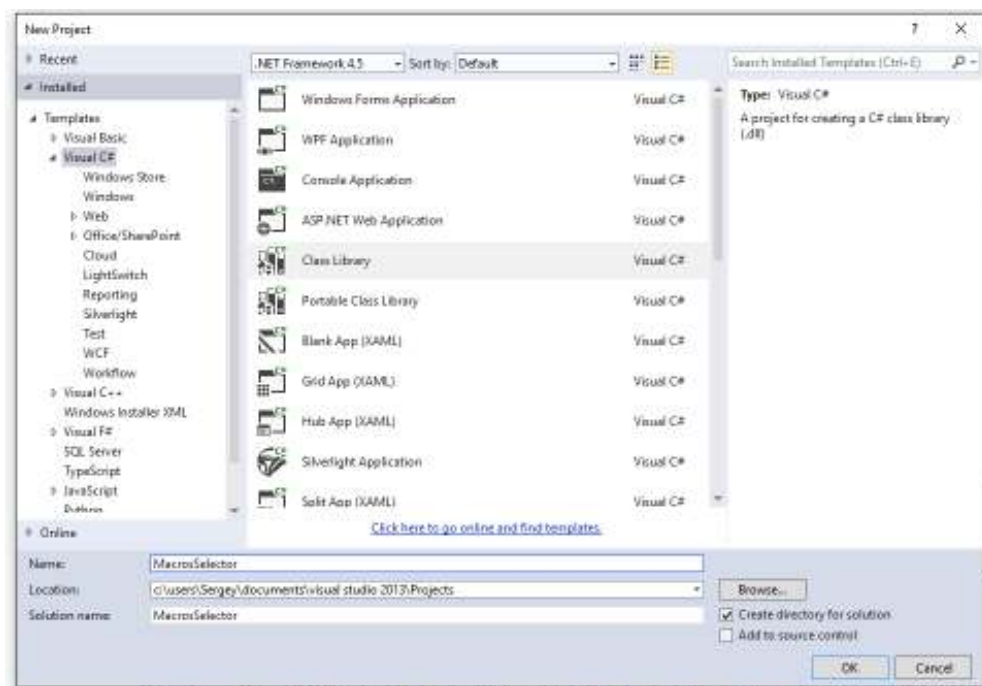


Рисунок 2 – Задати ім'я проекту

Коли проект створений, необхідно підключити потрібні нам бібліотеки, які ми попередньо завантажили. Для цього у вікні Solution Explorer на папці References натискаємо правою кнопкою миші і вибираємо пункт AddReference, рисунок 3. У вікні вибираємо вкладку Browse і додаємо бібліотеки, рисунок 4.

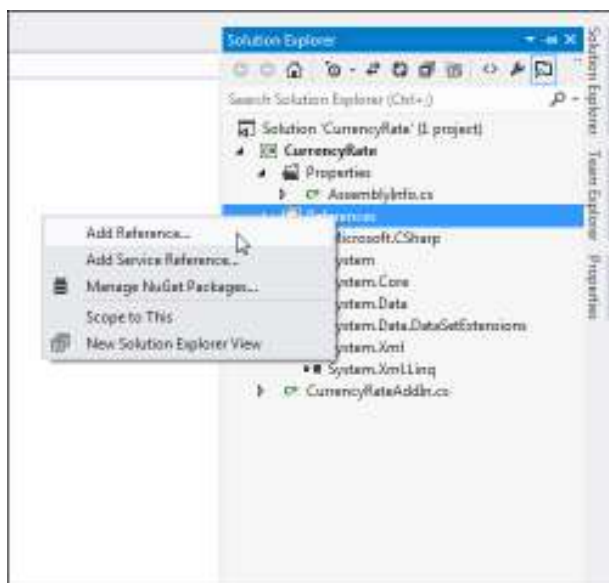


Рисунок 3



Рисунок 4 – Додати бібліотеки

Далі необхідно написання коду, на рисунку 5 представлено діаграму класів.

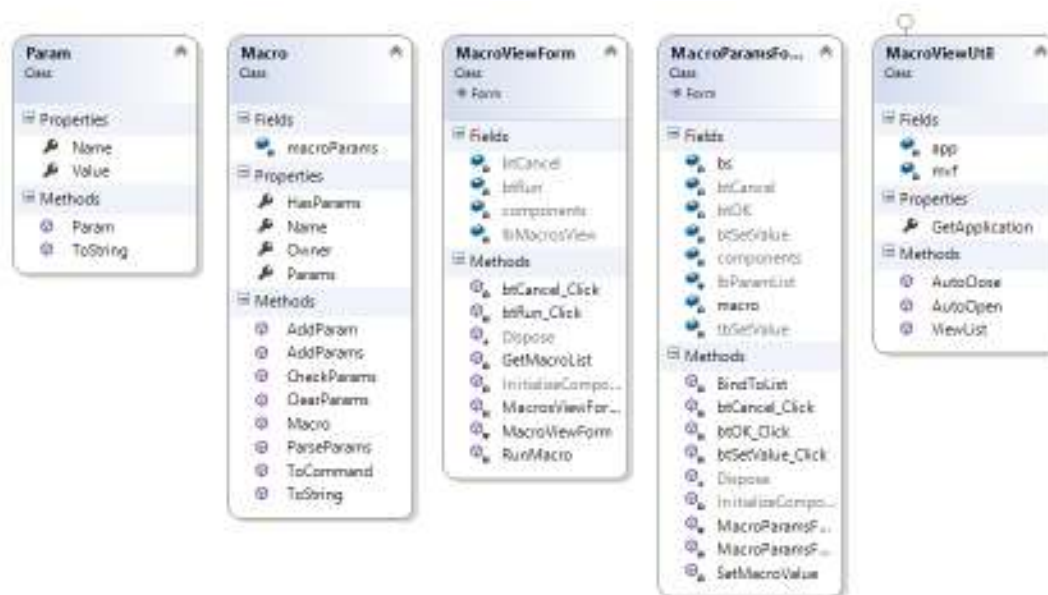


Рисунок 5 – Діаграма класів

Клас MacroViewUtil - це наш основний клас, його також можна назвати точкою входу в надбудову. В ньому реалізовані запуск плагіна, також кнопки для виклику нашого плагіна. Оскільки клас MacroViewUtil реалізує інтерфейс IExcelAddIn, ми в ньому повинні реалізувати методи AutoOpen() викликається при старті плагіна і AutoClose() викликається при видаленні плагіна. На рисунку 6 представлена реалізація цих методів.

```
public class MacroViewUtil:IExcelAddIn
{
    private static Excel.Application app = null;
    private static MacroViewForm mxf = null;

    public void AutoOpen()
    {
        try
        {
            app = (Excel.Application)ExcelDataUtil.Application;
            mxf = new MacroViewForm();
        }
        catch (Exception ex)
        {
            System.Windows.Forms.MessageBox.Show(ex.Message, "Error", System.Windows.Forms.MessageBoxButtons.OK, System.Windows.Forms.MessageBoxIcon.Error);
        }
    }

    public void AutoClose()
    {
        app = null;
    }
}
```

Рисунок 6 – Реалізація методів

Для розміщення на панелі Ribbon кнопки, ми повинні вказати в методі атрибут ExcelCommand і вказати параметри для цього атрибута, наприклад ім'я нашої кнопки, поєднання клавіш для швидкого виклику і т.д., рисунок 7.

```
[ExcelCommand(MenuName = "Macros Viewer", MenuText = "Show macros list", ShortCut = "Am")]
public static void ViewList()
{
    if (app == null)
    {
        System.Windows.Forms.MessageBox.Show("Instans of Excel aplication is null!", "Error", System.Windows.Forms.MessageBoxButtons.OK, System.Windows.Forms.MessageBoxIcon.Error);
        return;
    }
    mvf.ShowDialog();
}
```

Рисунок 7

Клас MacroViewForm - це клас вікна, який буде відображати список макросів, які містяться в поточній робочій книзі Excel.

MacroParamForm - це клас вікна, який буде відображати список параметрів для макросу з можливістю задати значення для обраного параметра.

Клас Macro - власне сутність, яка представляє макрос.

Param - це клас, який описує параметр для макросу.

Коли все готово, нам необхідно створити файл CurrencyRate.dna. Це файл в xml форматі, де ми вказуємо, яку саме зовнішню бібліотеку необхідно завантажити. Вміст файлу представлено на рисунку 8.

```
1 <DnaLibrary Name="Macros Selector" RuntimeVersion="v4.0">
2   <ExternalLibrary Path="MacrosSelector.dll" />
3 </DnaLibrary>
```

Рисунок 8 - Вміст файлу CurrencyRate.dna

Також потрібно додати файл *.xll, який поставляється разом з бібліотекою ExcelDNA.Integration.dll.

Далі налаштуємо наш проект на налагодження. Для цього перейдемо в властивості проекту та відкриємо вкладку Debug. Необхідно вказати, що будемо використовувати зовнішню програму і в поле введення вкажемо шлях до Excel.exe. В поле Command line arguments необхідно вказати шлях до нашого MSelectorAddIn.xll (якщо у нас використовується офіс x64 то до імені потрібно додати значення розрядності MSelectorAddIn64.xll). На рисунку 9 показана вкладка Debug вікна властивостей проекту.

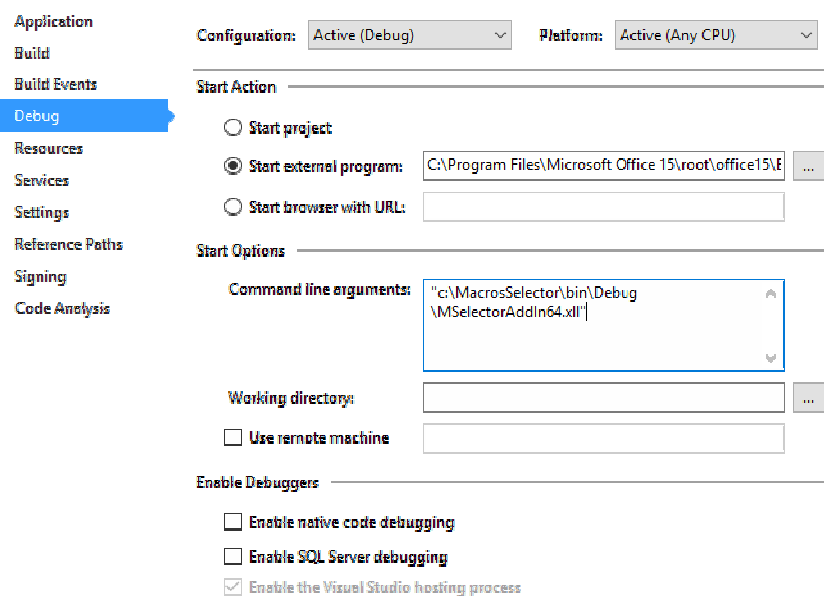


Рисунок 9 - Вкладка Debug вікна властивостей проекту

В результаті ми можемо запустити наш проект на налагодження і перевірити роботу розширення для Excel. Але для початку потрібно налаштувати Excel для запуску макросів.

У вікні, в списку зліва вибираємо «Центр управління безпекою». А в правій частині натискаємо на кнопку «Параметри центру управління безпекою».

VBA вважається стандартною мовою написання сценаріїв для додатків Microsoft, і в даний час він входить до складу всіх додатків Office і навіть додатків інших компаній. Отже, оволодівши VBA для Excel, ви зможете відразу перейти до створення макросів для інших програмних продуктів Microsoft. Більш того, ви зможете створювати повноцінний програмний продукт, одночасно використовують функції самих різних додатків.

Включити макроси в Excel.

За замовчуванням, вкладка, що відповідає за управління та навігацію макросів в Excel, прихована. Щоб активувати цю опцію перейдіть по вкладці «Файл» в групу «Параметри». У діалоговому вікні Параметри Excel, перейдіть по вкладки «Налаштування стрічки», в правому полі зі списком ставимо маркер напроти вкладки «Розробник», рисунок 10. Дані дії актуальні для версій Excel 2010 і старше.

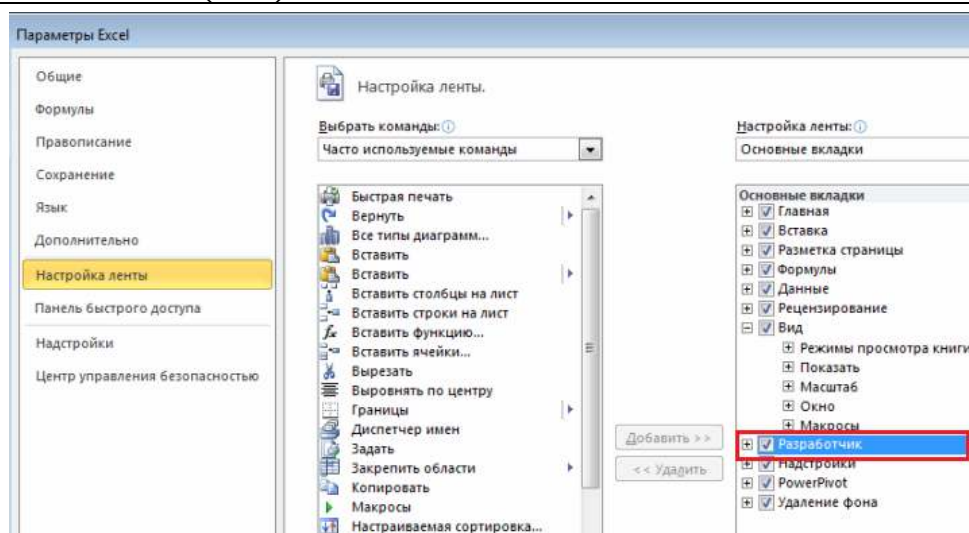


Рисунок 10 - Відображення вкладки «Розробник»

Написання макросів в Excel.

У вкладці «Розробник» у групі «Код», натисніть кнопку «Запис макросу». З'явиться діалогове вікно «Запис макроса», яка запитує деяку інформацію про майбутнє записуваному коді. З даного моменту Excel буде фіксувати кожну дію користувача в модулі VBA, будь то введення даних, форматування або створення діаграм. Щоб зупинити запис макросу, натисніть кнопку «Зупинити запис».

Тепер є можливість подивитися список всіх створених макросів, натиснувши на кнопку «Макрос», що знаходиться в групі «Код». У діалоговому вікні ви можете дати більш описові імена своїм кодами або задати поєднання клавіш, які б запускали той чи інший макрос.

Редагування макросів. Необхідно перевірити, який код згенерував нам Excel. Згенерований код написаний на мові VBA (Visual Basic for Applications). Щоб побачити її потрібно відкрити Редактор VB (VBE). Пишемо макроси, рисунок 11.

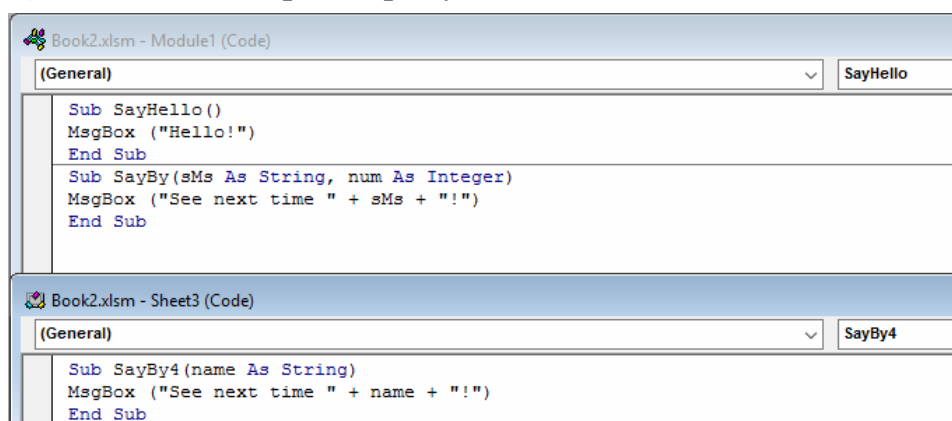


Рисунок 11 – Написання макросу

Нижче представлені два макроси:

- макрос SayHello - який не приймає параметрів і видає вікно повідомлення з привітанням;

- макрос SayBy4 - який приймає, як параметр строкову змінну і також виводить вікно повідомлення з текстом прощання в якому буде виведено ім'я, яке ми вкажемо в параметрі [3].

Отже запускаємо наш проект на налагодження. Переходимо на вкладку «Надбудови» і бачимо нашу кнопку «Macros Viewer», натискаємо, і в випадаючому меню з'являється команда «Show macros list», рисунок 12.

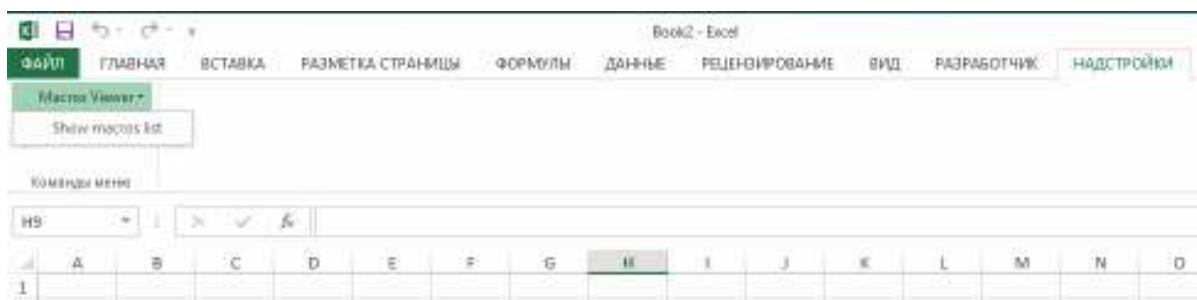


Рисунок 12

Після натискання на команду з'являється вікно зі списком макросів в активній робочій книзі, рисунок 13.

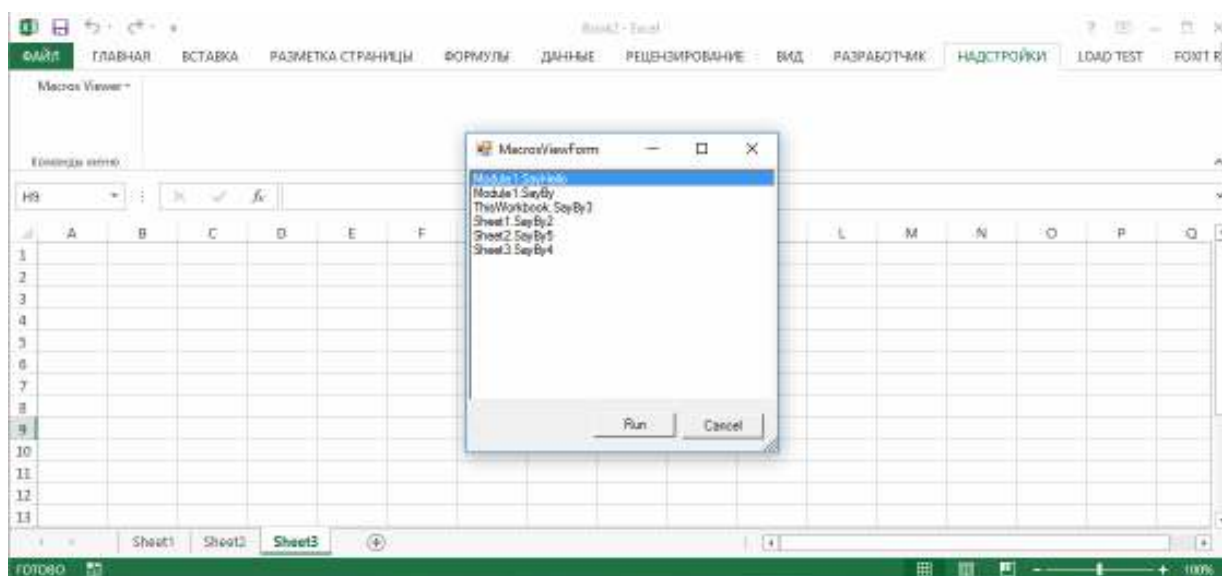


Рисунок 13

Для запуску макросу досить виділити макрос у списку, і натиснути кнопку «Run». Нижче на рисунку 14 показаний запуск макросу SayHello.

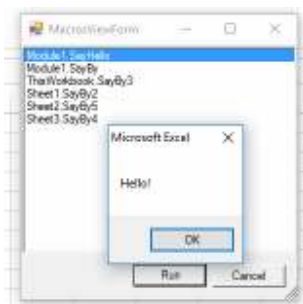


Рисунок 14 – Запуск макросу SayHello

Далі, запусимо макрос з параметром з'явиться вікно зі списком параметрів.

Для того, щоб задати параметр, треба виділити параметр в списку ввести значення і натиснути кнопку Set, рисунок 15.

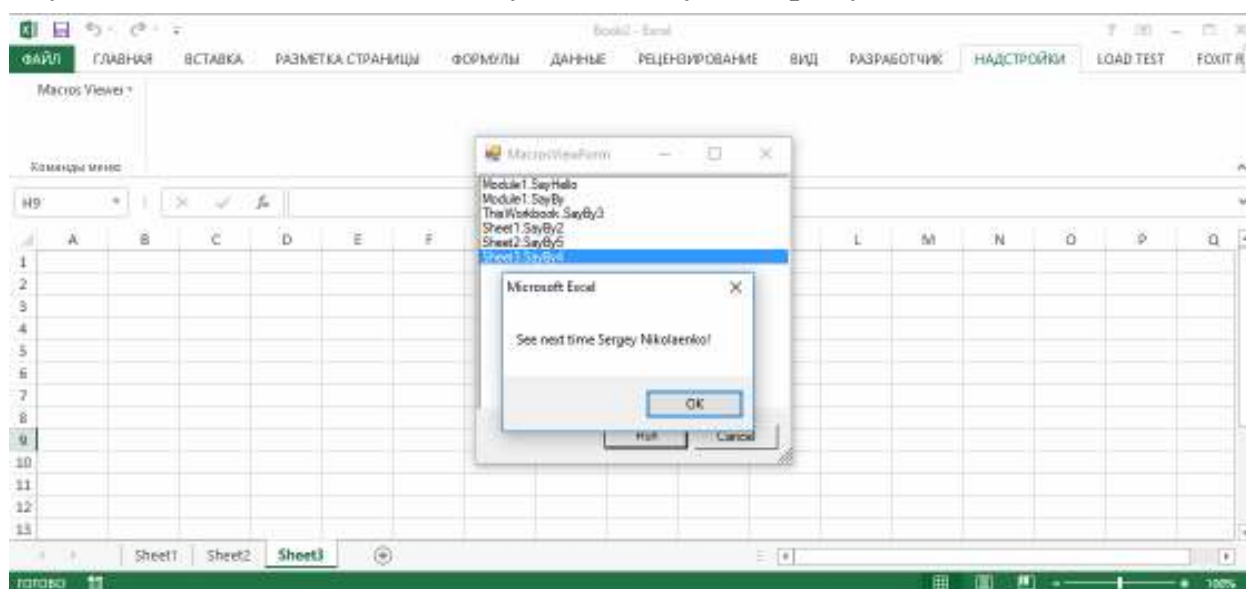


Рисунок 15

Висновки

В результаті розроблено модуль розширення керування макросами для Microsoft Excel засобами C #, який надає можливість запуску макросів з вхідними параметрами, бо в стандартному інструменті такої можливості немає.

ЛІТЕРАТУРА

1. Джон Уокенбах Excel 2013: Профессиональное программирование на VBA. - М.: «Диалектика», 2014. — 960 с.
2. Посилання в мережі Інтернет: <http://json.org/json-ru.html>
3. Стивен Буллен, Роб Боуви, Джон Грин Excel и VBA: Профессиональная разработка приложений. – Вильям, 2007.- 736 с.

В.В. Гнатушенко

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В БЕЗДРОВОЇЙ СЕНСОРНІЙ МЕРЕЖІ ЗАЛЕЖНО ВІД ТРИВАЛОСТІ РОБОЧОГО ЦИКЛУ

Анотація. У статті розглянуто питання споживання енергії і підвищення енергоефективності вузлів безпроводних сенсорних мереж (БСМ). Виявлено, що основним фактором, що впливає на збільшення ймовірності порушення роботи сенсорної мережі є тривалість робочого циклу та різка зміна інтенсивності трафіка. Збільшення споживання енергії відбувається майже лінійно з робочим циклом, при збільшенні швидкості трафіку середнє споживання енергії спочатку зменшується, а потім збільшується. Отримані залежності дозволяють підвищити якість обслуговування користувачів.

Ключові слова: енергоспоживання, бездротова сенсорна мережа, цикл.

Постановка проблеми

В останнє десятиліття отримали великий розвиток інформаційні системи на основі бездротових сенсорних мереж (БСМ) [1-2]. Такі системи, що складаються з безлічі мініатюрних вузлів, оснащених малопотужним приймально-передавачем, мікропроцесором, сенсором, можуть зв'язати воедино глобальні комп'ютерні мережі і фізичний світ. Великий інтерес до вивчення таких мереж обумовлений широкими можливостями їх застосування: моніторинг навколишнього середовища, сейсмічний і структурний моніторинг, автоматизація, пожежна безпека, військова техніка, автомобілебудування, медицина і т. д. Використання в цих галузях традиційних дротових з'єднань не завжди ефективно, в деяких ситуаціях взагалі неможлива прокладка кабелів за технологічними або організаційних причин.

Ключовою особливістю сенсорних мереж є здатність до ретрансляції даних від одного вузла до іншого, що дозволяє передавати інформацію на значну відстань при малій потужності передавачів. Сенсорні вузли мають обмежену обчислювальною потужністю, канали передачі даних, що використовуються в бездротових сенсорних мере-

жах, накладають жорсткі обмеження по пропускній здатності, а також дальності і стабільності зв'язку. Розробка ефективних моделей і алгоритмів розкладу режимів роботи бездротової сенсорної мережі дозволить скоротити час збору даних з її сенсорних вузлів, а також їх енергоспоживання. Завдяки чому, підвищиться ефективність бездротової сенсорної мережі і її ресурс (час експлуатації до виснаження джерел живлення).

Аналіз останніх досліджень

Більшість існуючих робіт з дослідження споживання енергії в БСМ та аналізу тривалості життя зосереджено на оцінці середніх значень параметрів мережі. В [3-4] оцінюється середня ефективність використання енергії для конкретних протоколів, в аналітичних дослідженнях [5-7] запропоновані моделі споживання енергії. В [8] запропонована модель управління циклами роботи БСМ. Для заданої швидкості надходження подій модель отримує середній термін служби вузла. В [9] розглянуто деякі аспекти підвищення енергоефективності в БСМ: запропоновані співвідношення для розрахунку споживання енергії вузлом, які дозволяють оцінити витрата заряду батареї, використовуючи первинні параметри при різних виконуваних функціях шляхом комбінації.

В [10] наведені варіанти побудови БСМ на основі технології MeshLogic, методика розрахунку середнього енергоспоживання вузлів і терміну служби їх елементів живлення. З огляду на то, що технологія MeshLogic є комплексом апаратного і програмного забезпечення, яка реалізує набір мережевих протоколів для пакетної передачі даних між будь-якими пристроями мережі і є універсальною базою для створення БСМ, то можливо адаптувати методику розрахунку середнього значення енергоспоживання вузлів [10] на мережі, які побудовані на інших програмно-апаратних платформах.

Таким чином залишається актуальною і затребуваною задача зменшення споживання енергії бездротовою сенсорною мережею без урахування топології та протоколів маршрутизації та потреба в розробці нових моделей на базі розкладу функціонування вузлів для вирішення цих питань.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Мета роботи полягає в розробці імітаційної моделі бездротової сенсорної мережі, дослідженні споживання енергії вузлами в залеж-

ності від різних параметрів (робочого циклі, щільності вузлів мережі і швидкості трафіка) і аналізі результатів моделювання.

Основна частина

Час життя БСМ обмежено часом життя джерела живлення вузла, і питання зниження споживання енергії як ніколи стає важливим, а ефективність його рішення безпосередньо впливає на подальший розвиток бездротових сенсорних мереж.

Кожен вузол, за винятком стоку, має робочий цикл з тривалістю T_r і кожен цикл ділиться на дві фази. На першому етапі (прослуховування) вузли прослуховують канал для будь-якого можливого вхідного трафіку. Друга фаза є фазою передачі і сну, в якій вузли спочатку намагаються передати кожен пакет з черги. Після того, як передаються всі пакети, вузол вимикається для економії енергії. Тривалість цих двох фаз позначаються T_a й T_b . Робочий цикл дорівнює $\xi = T_a/T_r$. Для збільшення тривалості життя мережі бажано мати дуже короткий робочий цикл, і, отже, як правило, $T_a \ll T_r$.

Для виявлення залежності між параметрами мережі проводилося моделювання з різними значеннями інтенсивності трафіку, робочого циклу і щільністю вузлів, а результати порівнювалися з аналітичними розрахунками. Інтенсивність руху трафіку становила 0,05 пакетів/хв і ступінь вузла 13,3. Середнє значення енергоспоживання вузлом, який розташований в 27 м від стоку, протягом 1 години наведені на рисунках 1-2.

Збільшення споживання енергії відбувається майже лінійно з робочим циклом (рисунок 1а), хоча споживання енергії пов'язане з іншими мережевими і протокольними параметрами (рисунок 1б і 1в), проте тривалість робочого циклу є основним фактором, що впливає на споживання енергії. Коли щільність збільшується (рисунок 1б) вузол в середньому витрачає менше енергії, хоча ця тенденція менш очевидна, коли ступінь вузла вище 13. Це пов'язано з тим, що якщо щільність вузлів низька, то при передачі пакетів кожен вузол повинен чекати протягом тривалого часу, перш ніж інші вузли в області досяжності прокинуться, і як наслідок споживається більше енергії.

При збільшенні швидкості трафіку (рисунок 1в), середнє споживання енергії спочатку зменшується, а потім збільшується. Причина полягає в тому, що коли кожен вузол передає пакети, він не відповідає на інші запити. При більш високій швидкості трафіку,

збільшується кількість вузлів, які передають дані. Такі вузли повинні чекати протягом більш тривалого часу і збільшується енергія, витрачена на передачу. При помірній швидкості трафіку є досить доступних вузлів. Вузли, що передають, можуть закінчити свої передачі і «заснути», при цьому ефективно заощаджується енергія. При низькій швидкості трафіку ймовірність того, що вузли передадуть пакет і «заснуть», є низькою. Отже, споживання енергії менше (найкраще рішення) при помірній швидкості трафіку. Запропонована система забезпечує точність результатів для середнього споживання енергії з похибкою менш 3,5%. Модель забезпечує менш точні результати при високій швидкості трафіку. Для визначення впливу швидкості трафіку рівній 0,05 пакет/хв, робочого циклу – 0,2 і ступеня вузла – 13,3 проведено моделювання, результати якого порівняні з аналітичними розрахунками.

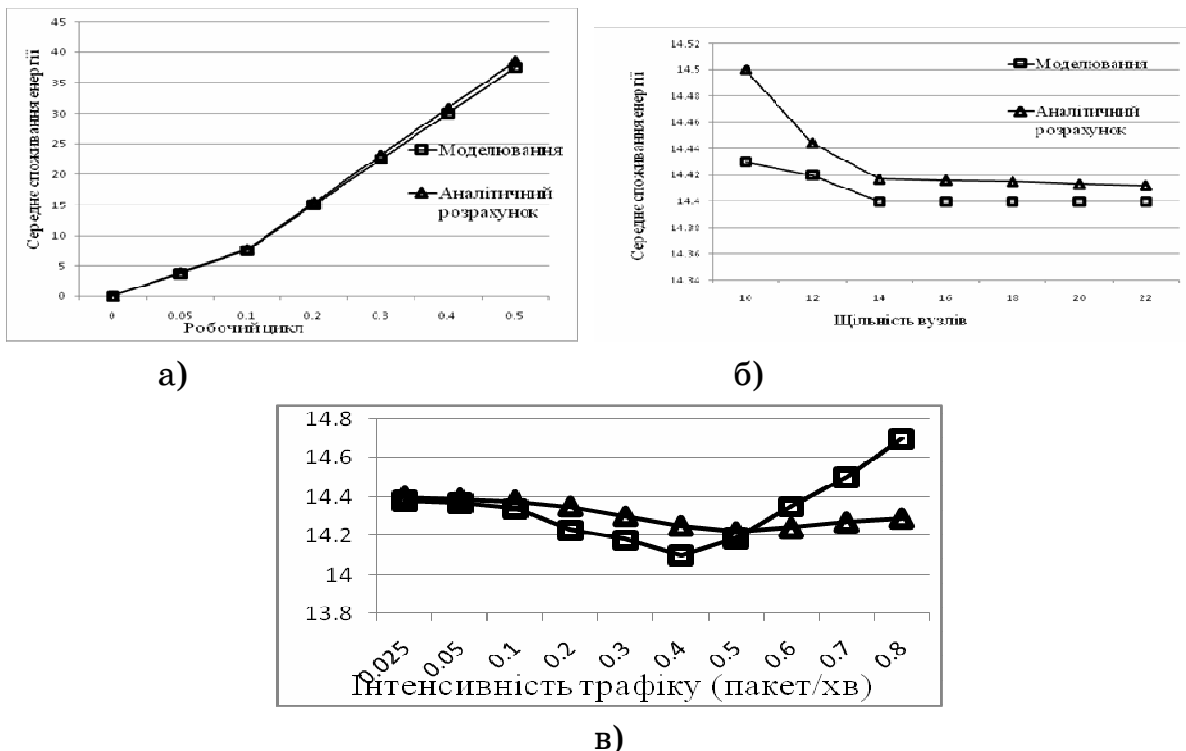


Рисунок 1 - Середнє споживання енергії (умовних одиниць) протягом 1 години для вузла розташованого в 27 м від стоку

Дисперсія енергоспоживання менш чутлива до робочого циклу (рисунок 2а). Проте, вплив щільності вузлів в мережі і швидкості трафіку вище (рисунок 2б і 2в). Дисперсія збільшується приблизно в 13 разів, коли ступінь вузла знижується з 22,2 до 8,89 і збільшується приблизно в 180 разів, коли швидкість трафіку збільшується від

0.025 до 0,6 пакетів/хв.

Коли щільність збільшується (рисунок 2б) вузол в середньому витрачає менше енергії, хоча ця тенденція менш очевидна, коли ступінь вузла вище 13. Це пов'язано з тим, що якщо щільність низька, то при передачі пакетів кожен вузол повинен чекати протягом тривалого часу, перш ніж інші вузли в області прокинутися в області досяжності, відповідно споживається більше енергії. Дисперсія енергоспоживання також зменшується (рисунок 2б), так як більш висока щільність вузлів збільшує ймовірність переданих пакетів з коротким часом передачі. Таким чином, низька дисперсія часу передачі призводить до низької дисперсії споживання енергії. Дисперсія споживання енергії монотонно збільшується з більш високою швидкістю трафіку (рисунок 2в). Це пов'язано з тим, вузли з більшою ймовірністю виконують операції, і періоди передачі коротші. Таким чином, дії є більш однорідними і дисперсія споживання енергії нижче. Коли трафік "важчає", вузли виконують передачу сигналів з більш високою ймовірністю і передають їх протягом більш тривалих періодів часу. Таким чином, вузли, які виконують дії швидше за інших, в результаті мають більш високу дисперсію енергоспоживання. Для дисперсії помилка вище, але менше, ніж 2,1%.

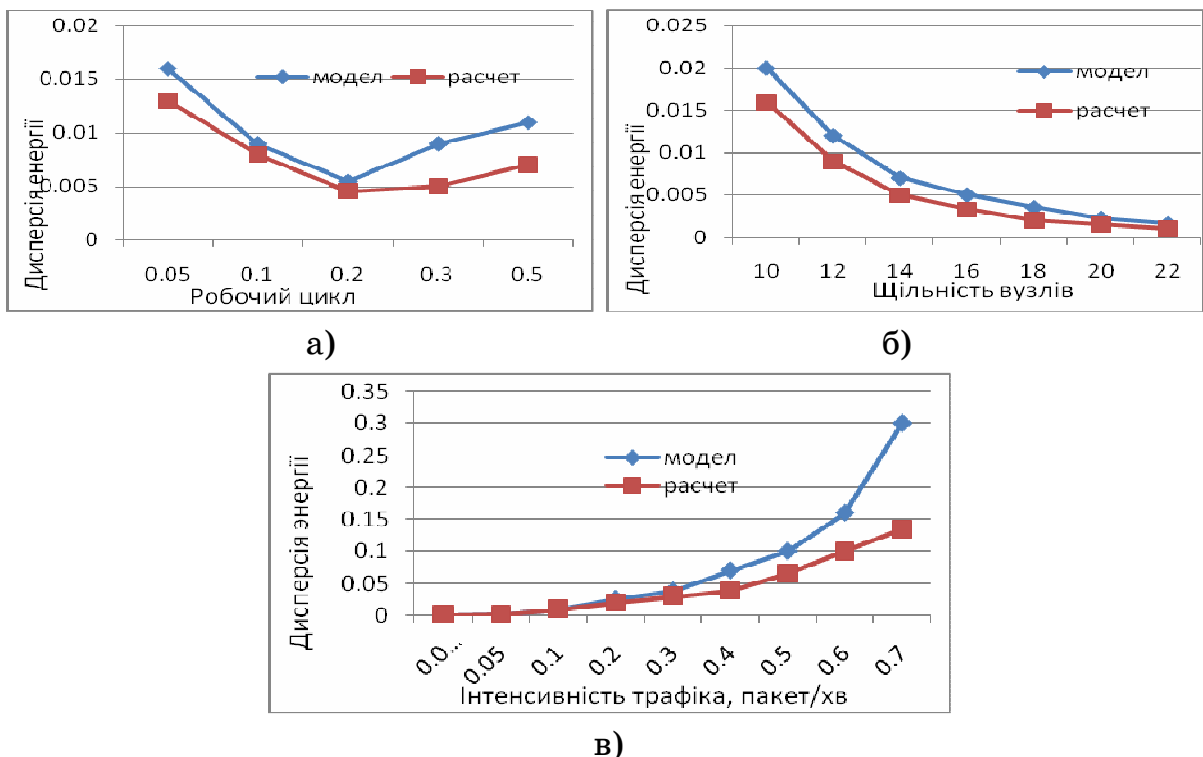


Рисунок 2 – Дисперсія споживання енергії (A^2c^2) протягом 1 години для вузла, розташованого в 27 м від стоку

Висновки та перспективи подальших досліджень

Ключовий параметр якості роботи бездротових сенсорних мереж – енергоспоживання, тому питання його розрахунку при створенні подібних систем виникає одним з перших. У статті проведено аналіз енергоспоживання вузлів безпроводних сенсорних мереж в залежності від розкладу функціонування та параметрів трафіку. Скорочення робочого циклу знижує споживання енергії, збільшення або зменшення швидкості трафіку на 0,05 пакет/хв призводить до зменшення ймовірності досягнення поставленого терміну служби всієї мережі. Запропонована методика забезпечує результати для середнього споживання енергії з похибкою менш 3,5%, для дисперсії помилка не перевищує 2,1%. Дана робота корисна при виборі технічного забезпечення для побудови бездротових мереж.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кучерявый, А.Е. Самоорганизующиеся сети / А.Е. Кучерявый, А.В. Прокопьев, Е.А. Кучерявый. – СПб : Любавич, 2011. – 312 с.
2. Kumar, V. Energy efficient clustering algorithms in wireless sensor networks: A survey/ V. Kumar, S. Jain, S. Tiwari// International Journal of Computer Science Issues.– 2011.–vol.8.–p.259-268.
3. Buettner, M. X-MAC: a short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks/ M. Buettner, G. V. Yee, E. Anderson, R. Han// In Proc. of ACM SenSys 2006, Boulder, CO, 2006. – p.1046-1067.
4. Muhammad Mahtab, A. A Hybrid Model for Accurate Energy Analysis of WSN Nodes/ A. Muhammad Mahtab, B. Olivier, M. Daniel, A. Thomas, S. Olivier// EURASIP Journal on Embedded Systems.– 2011.– p.203-218.
5. Boughanmi, N. A new routing metric for satisfying both energy and delay constraints in wireless sensor networks/ N. Boughanmi, Y.Q. Song// Journal of Signal Processing Systems.– 2008.–vol.51(2).–p.137–143.
6. Dargie, W. Modelling the energy cost of a fully operational wireless sensor network/ W. Dargie, X. Chao, M.K. Denko// Telecommunication Systems.– 2010.–vol.44(1-2).–p.3–15.
7. Vikt. Hnatushenko The distribution of energy consumption in wireless networks to anycast protocol. Power Engineering and Information Technologies in Technical Objects Control – 2016 – p. 195-201
8. Jung, D. Sensor node lifetime analysis: Models and tools/D. Jung, T. Teixeira, A. Savvides.//ACM Trans. on Sensor Networks, 2009 –vol.5(1).– p.1–33.
9. Власова, В. А. Анализ энергоциклов узлов беспроводных сенсорных сетей [Текст] / В. А. Власова, А. Н. Зеленин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 3, № 9 (57). – С. 13–17.
10. Баскаков, С. Оценка энергопотребления беспроводных узлов в сетях MeshLogic [Текст] / С. Баскаков // Беспроводные технологии. – 2010. – № 1. –С. 28–31.

Н.Л. Дорош, Л.М. Петречук

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВОГО РЯДУ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Анотація. Розроблена надбудова Excel (XLA), яка надає можливість виконувати спектральний аналіз даних в електронних таблицях. Модулі надбудови надають можливість перегляду даних, виконання експоненціального згладжування, нелінійного перетворення Бокса-Кокса та згладжування даних з використанням алгоритмів цифрової фільтрації.

Ключові слова: надбудова MS Excel, часовий ряд, спектральний аналіз, імпульсна характеристика, циклічні зміни.

Постановка проблеми

Розповсюдженість та зручність табличного процесору Ms Excel давно зробили його одним з найпопулярніших програмних продуктів для виконання різнопланових обчислень. Можливість підключення до MS Excel різноманітних програмних модулів у вигляді надбудов – ще одна важлива його перевага [1]. Надбудова Excel (xla), яка дозволить виконувати графічне представлення даних і спектральної щільності сигналу, а також виведення результатів обробки даних методом цифрової фільтрації на робочий лист – компенсує відсутність функцій для проведення спектрального аналізу у табличному процесорі.

Формулювання цілей статті

Метою даної роботи було створення надбудови, модулі якої дозволяють виконувати згладжування часового ряду, його перетворення за методом Бокса-Кокса та згладжування цифровим фільтром з кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ) і аналіз часового ряду.

Об'єктом дослідження є часовий ряд, який обробляється у спроектованій надбудові.

Предметом дослідження виступають методи згладжування даних, які використані у розробленій надбудові.

Основна частина

Нова надбудова забезпечує додаткові функціональні можливості обробки часових рядів у процесорі MS Excel [2] і використовує функції, які перебувають у бібліотечному dll-файлі. У функціях реалізовані такі можливості: перегляд даних часового ряду; експоненціальне згладжування часового ряду; нелінійне перетворення Бокса-Кокса (Box-Cox Transformation); згладжування цифровим фільтром з кінцевою імпульсною характеристикою (KIX).

Функції реалізовані мовою C++ у середовищі C++Builder. Стандартні файли dll створюються за допомогою компіляторів C++Builder [3] і використовують в проекті внутрішню мову програмування VBA (Visual Basic for Applications). Функції стандартної dll неможливо викликати безпосередньо з робочого аркуша, або з аркуша макросів MS Excel [1]. Для цього побудовані спеціальні інтерфейсні функції. Діаграма компонентів, яка доводить структуру надбудови Excel, надана на рисунку 1.

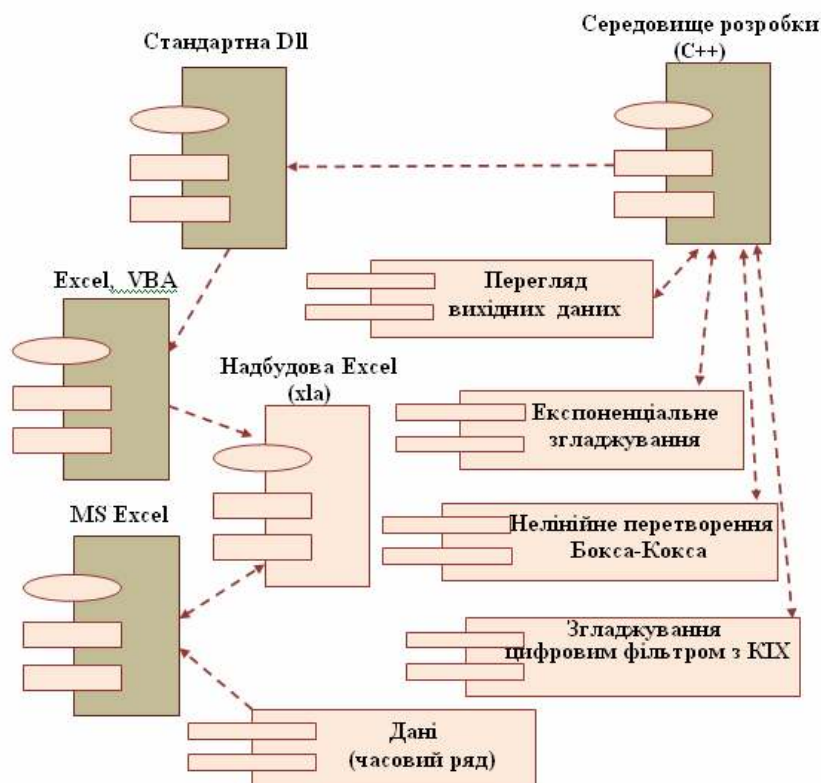


Рисунок 1 – Діаграма компонентів для надбудови Excel

Експоненціальне згладжування сигналу в модулі надбудови здійснюється за рекурентною формулою:

$$S(t) = \alpha \cdot x(t) + (1 - \alpha) \cdot S(t - 1) \quad (1)$$

де α – параметр згладжування; $S(t)$ – згладжене значення часового ряду

$$X = \{x_1, x_2, x_3 \dots x_t\}.$$

Значення параметру згладжування α знаходиться у межах $0 \leq \alpha \leq 1$, рекомендовано обрати значення α від 0,35 до 1.

Нелінійне перетворення сигналу по методу Бокса–Кокса

Згладжування часового ряду $X=\{x_1, x_2, x_3 \dots x_T\}$ здійснюється за формулою:

$$S(t) = \begin{cases} \frac{X(t)^\lambda - 1}{\lambda} & \text{якщо } \lambda \neq 0 \\ \ln(X(t)) & \text{якщо } \lambda = 0 \end{cases} \quad (2)$$

де $S(t)$ – згладжене значення, λ - параметр.

Одним із способів визначення оптимальної величини параметру лямбда є максимізація логарифма функції правдоподібності (функція максимальної лог-правдоподібності):

$$f(x, \lambda) = -\frac{N}{2} \ln \left[\sum_{i=0}^{N-1} \frac{(x_i(\lambda) - \bar{x}(\lambda))^2}{N} \right] + (\lambda - 1) \sum_{i=0}^{N-1} \ln(x_i) \quad (3)$$

де N – кількість спостережень;

x – спостереження часового ряду;

$\bar{x}$ - середнє значення спостережень часового ряду.

$$\bar{x}(\lambda) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i(\lambda) \quad (4)$$

Тобто необхідно вибрати таке значення параметра лямбда, при якому дана функція приймає максимальне значення.

У розробленій надбудові згладжування шляхом лінійної фільтрації вихідних даних цифровим фільтром з кінцевою імпульсною характеристикою реалізовано декількома варіантами: усереднення по n точках ($n=3-15$); метод параболи крізь декілька рівновіддалених значень сигналу, з подальшим використанням у якості згладженої величини значення параболи у середній точці ($n= 5, 7, 9, 11, 13$); усереднення Спенсера по 15 та 21 точках [4].

Згладжування сигналу по трьох точках виконувалося згідно формули:

$$Y(n) = (X(n-2) + X(n-1) + X(n) + X(n+1) + X(n+2)) / 3 \quad (5)$$

Згладжування методом Спенсера по 21-й точці здійснювалося згідно формули:

$$x_i = \frac{1}{320} (-3x_{i-7} - 6x_{i-6} - 5x_{i-5} + 3x_{i-4} + 21x_{i-3} + 46x_{i-2} + 67x_{i-1} + 74x_i + 67x_{i+1} + 46x_{i+2} + 21x_{i+3} + 3x_{i+4} - 5x_{i+5} - 6x_{i+6} - 3x_{i+7}) \quad (6)$$

Спектральний аналіз сигналу призначений для оцінки частотного складу дискретного сигналу [5]. Непараметричні методи засновані на обчисленні оцінок спектральної щільності потужності (СЩП) безпосередньо за відліком вихідної послідовності, що визначає їх основні переваги – можливість застосування до широкого класу стаціонарних сигналів і шумів і високу обчислювальну ефективність за рахунок застосування алгоритмів швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

Для оцінки спектральної щільності потужності застосовують метод періодограм [6], який полягає в обчисленні оцінки СЩП кінцевої випадкової послідовності довжини N , яка називається періодограмою.

$$\hat{S}(\omega) = \frac{|X(e^{j\omega T})|^2}{Nf_D} \quad (7)$$

де $X(e^{j\omega T})$ – спектральна щільність кінцевої послідовності $x(n)$.

$$X(e^{j\omega T}) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\omega Tn} \quad (8)$$

Для зменшення ефекту розтікання спектру при обчисленні періодограм за допомогою дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) і, як наслідок, згладжування періодограми, застосовують вагові функції (вікна), і видозмінена періодограма, звана модифікованою періодограмою, набирає вигляду:

$$\hat{S}_w(\omega) = \frac{\frac{1}{f_D} |X_w(e^{j\omega T})|^2}{\sum_{n=0}^{N-1} |w(n)|^2} \quad (9)$$

де $w(n)$ – вагова функція (вікно) довжини N ;

$X_w(e^{j\omega T})$ – спектральна щільність множення $x(n) \cdot w(n)$:

$$X_w(e^{j\omega T}) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)w(n)e^{-j\omega Tn} \quad (10)$$

Віконна функція ШПФ використовується для придушення крайових ефектів розривності реальних функцій шляхом введення вагових коефіцієнтів для вибірки даних у вікні, які забезпечують зни-

ження амплітуд крайових точок (старту і стопа) і, в результаті, поліпшення результатів ШПФ. Різні види віконних функцій (прямокутне вікно, Хеммінга, Ханнінга, Блекмана-Харріса) дають різні результати, як по точності, так і по частотному вирішенню і використовуються для різних видів сигналів [7].

В роботі застосовано вікно Хеммінга.

Нехай $X=\{x1, x2, x3 \dots xN\}$ – часовий ряд, який надано, $Y=\{y1, y2, y3 \dots yN\}$ – часовий ряд (сигнал) після згладжування.

Згортка сигналу має вигляд:

$$y(n) = \sum_{m=0}^{\infty} h(n-m)x(m) = \sum_{m=0}^{\infty} h(m)x(n-m) \quad (11)$$

де m - затримка послідовності, $h(n)$ – імпульсна характеристика (ІХ).

$H(z)$ — z -зображення ІХ $h(n)$ – обчислюється за формулою:

$$H(z) = \sum_{n=0}^{\infty} h(n)z^{-n} \quad (12)$$

Передавальна функція $H(z)$ дорівнює:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} \quad (13)$$

де $X(z)$, $Y(z)$, – z - зображення сигналу до- і після обробки.

Нехай $H\left(e^{j\hat{\omega}}\right)$ - Фур'є - зображення ІХ $h(n)$, де $\hat{\omega}$ — нормована частота.

Для частотної характеристики $H\left(e^{j\hat{\omega}}\right)$ і передавальної функції $H(z)$ вірно співвідношення:

$$H\left(e^{j\hat{\omega}}\right) = H(z) \Big|_{z=e^{j\hat{\omega}}} \quad (14)$$

У створеній надбудові проведено аналіз часового ряду, що відображає кількість громадян, які вперше звернулися до лікувально-профілактичних закладів України зі скаргами на органи травлення. Вихідні дані – щомісячна кількість пацієнтів, які звернулися за проміжкою з січня 2006 року по грудень 2015 року.

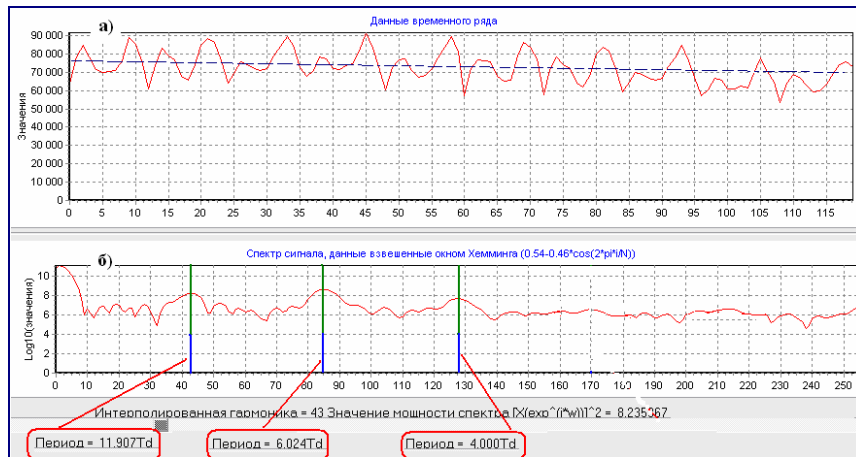


Рисунок 2 – Часовий ряд, що відображає показники за 10 років

Графічне зображення досліджуваного часового ряду наведено на рисунку 2 і дає первинне уявлення про зміну статистичних показників (кількості хворих) за минулі 10 років. Візуально на графіку можна виділити:

- довготривалу тенденцію – пунктирна лінія йде поступово вниз (рисунок 2-а);
- циклічні зміни, які зазвичай пов'язані з коливаннями фізіологічної активності організму людини (рисунок 2-а);
- сезонні коливання (рисунок 2-б);
- нерегулярні коливання, пов'язані з непередбачуваними випадковими подіями (рисунок 2-б).

На рисунку 2-б представлений спектр сигналу (згладжений вікном Хеммінга), що має гармоніки, яким відповідають значення періодів 12, 6 і 4. Виходячи з того, що часовий ряд, який аналізується, складається з щомісячних показань (тобто має крок дискретизації за часом $T_d = 1$), цифри вказують на те, що звернення громадян до медучастин має певну закономірність, яка має три різних за часом періоди: річний (12 місяців); піврічний (6 місяців) і посезонний (зима, весна, літо, осінь – 4 місяці).

Графічне зображення ряду даних після обробки методом експоненціального згладжування (у надбудові) при різних значеннях параметру α надано на рисунку 3. Результати згладжування ряду даних у вигляді фрагменту таблиці Excel та графіків залишків надані на рисунку 4.

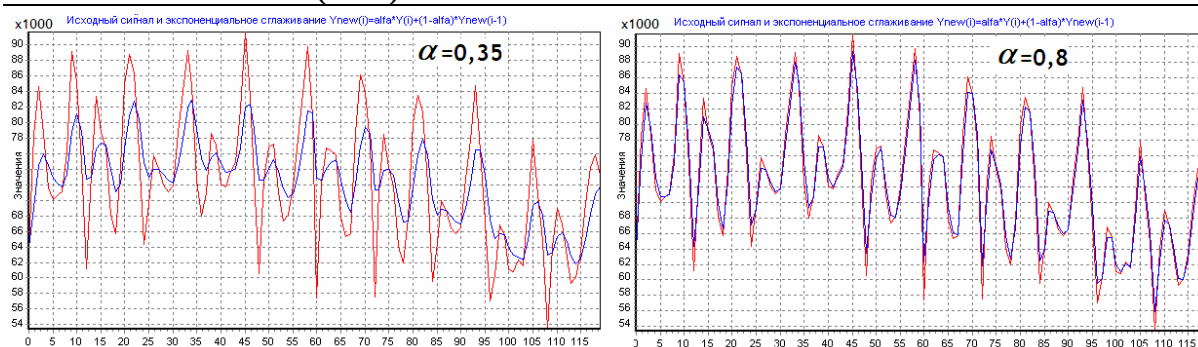


Рисунок 3 – Метод експоненціального згладжування

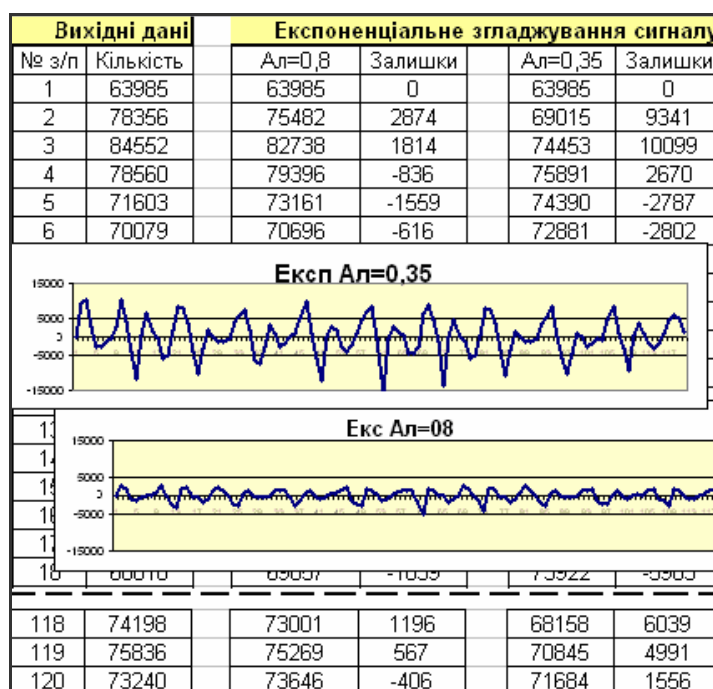


Рисунок 4 – Результати експоненціального згладжування на листі Excel

Достовірність будь-яких результатів виконується шляхом порівняння. Аналогічну обробку даних, щодо звернення громадян у медичні установи, було здійснено у додатку ITSM2000 [8].

На рисунку 5 показані види екранів додатку ITSM2000 та надбудови Excel для алгоритму нелінійного перетворення Бокса-Кокса. Результати у графічному вигляді схожі. Порівняльний аналіз по рисункам є якісним.

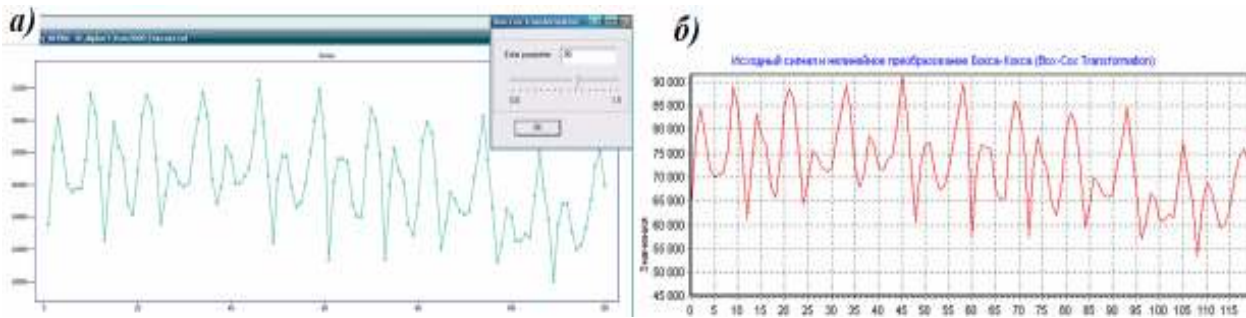


Рисунок 5 – Нелінійне перетворення Бокса-Кокса,
а)- в ITSM 2000, б)- в надбудові

На рисунку 6 зображена періодограма, яка зроблена у програмі в ITSM 2000. Пік в області деякої частоти ω_0 вказує на те, що в спектральному розкладанні автокореляційної функції присутня відповідна гармонійна компонента. Чим вище і різкіше виділено пік, тим більша частина потужності зосереджена близько частоти ω_0 і тим більшу роль відіграє ця частота в описі відповідного випадкового процесу [9].

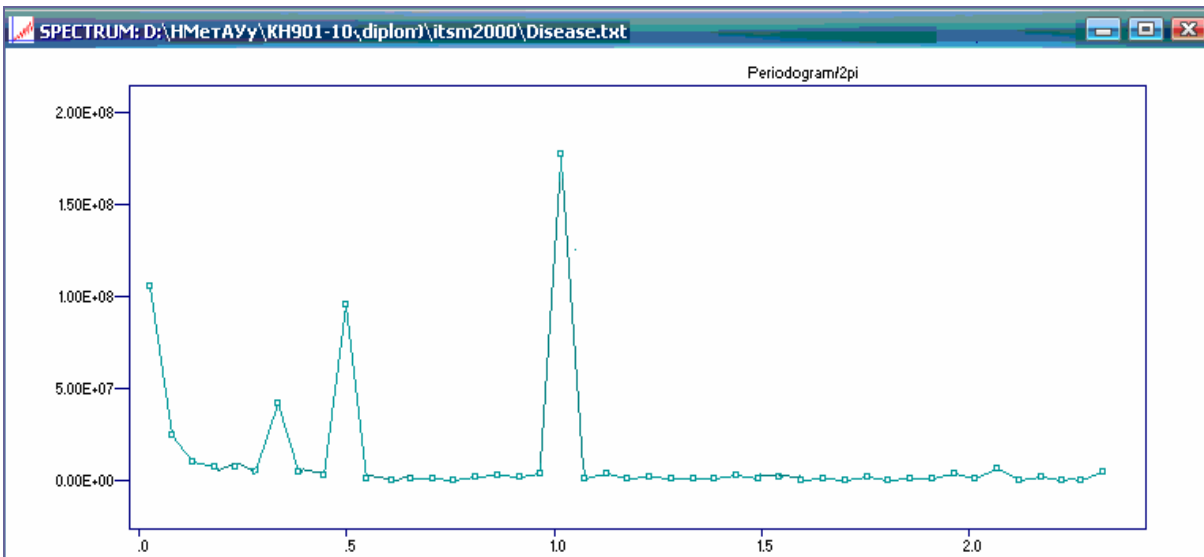


Рисунок 6 – Періодограма в ITSM 2000

При розгляді часових рядів за одиницю часу береться один місяць (одне спостереження за місяць). На періодограмі (рисунок 4.36) по осі X аргумент відповідає наступним значенням: 0,25 – 3 місяці, 0,5 – 6 місяців, 1,0 – 12 місяців. Наявність піків в області значень $\approx 0,33$, 0,5 і 1,0 свідчить про існування в досліджуваному ряду трьох циклів:

- 4-х місячного ($0,33 \cdot 12$ місяців = 4 місяця);
- піврічного циклу ($0,5 \cdot 12$ місяців = 6 місяців);

– річного циклу ($1,0 \cdot 12$ місяців = 12 місяців).

Спектр сигналу, отриманий після обробки часового ряду у надбудові (рисунок 7), показує наявність трьох явно виражених циклів з періодами 4, 6 та 12 місяців. Отже, спектральний аналіз у надбудові і в програмі ITSM 2000 тотожні.



Рисунок 7 – Спектр сигналу в «Надбудові»

Кількісний аналіз порівняння результатів згладжування, реалізованих у створеній надбудові алгоритмів, представлений на рисунку 8.

A	B	C	D	E	F	G	H
№ з/п	Сигнал, disease	Надбудова	ITSM 2000	Δ	Надбудова	ITSM 2000	Δ
		Експон. згладжування, $\alpha=0.8$			Перетворення Бокса-Кокса, $\lambda=0.84$		
1	63985	63985,39	63985,39	0,00	12965,48	12965,48	0,00E+00
2	78356	75482,10	75482,10	0,00	15371,25	15371,25	0,00E+00
3	84552	82738,12	82738,12	0,00	16386,03	16386,03	0,00E+00
4	78560	79395,84	79395,84	0,00	15404,86	15404,86	0,00E+00
5	71603	73161,33	73161,33	0,00	14250,34	14250,34	1,20E-13
6	70079	70695,65	70695,65	0,00	13995,19	13995,19	0,00E+00
7	70645	70655,10	70655,10	0,00	14090,04	14090,04	1,70E-13
8	71039	70962,19	70962,19	0,00	14156,03	14156,03	0,00E+00
9	76173	75130,91	75130,91	0,00	15010,65	15010,65	0,00E+00
10	89123	86324,19	86324,19	0,00	17126,95	17126,95	3,80E-13
11	85314	85515,92	85515,92	0,00	16509,95	16509,95	0,00E+00
12	74650	76822,88	76822,88	0,00	14758,05	14758,05	0,00E+00
116	63324	62671,74	62671,74	0,00	12852,86	12852,86	0,00E+00
117	69601	68215,43	68215,43	0,00	13914,97	13914,97	4,60E-13
118	74198	73001,19	73001,19	0,00	14682,94	14682,94	0,00E+00
119	75836	75269,15	75269,15	0,00	14954,85	14954,85	0,00E+00
120	73240	73645,72	73645,72	0,00	14523,56	14523,56	0,00E+00

Рисунок 8 – Результати порівняльного аналізу функцій надбудови та пакету ITSM 2000

Висновки

Виконано розробку надбудови, яка може бути використана для обробки часових рядів в електронних таблицях MS Excel. Надбудова дозволяє виконати згладжування часового ряду та провести спектра-

льний аналіз даних. Передбачено виведення отриманих результатів в лист Ms Excel.

Проведено дослідження часового ряду кількості пацієнтів з вадами органів травлення. Спектральний аналіз виявив наявність циклічності в досліджуваному ряді, про що кількісно свідчать такі показники:

- період=4Td вказує на наявність чотиримісячного циклу;
- період=6Td вказує на наявність шестимісячного циклу;
- період=12Td вказує на те, що характер кривої, яка відображає річну кількість громадян, що звернулися до медустанов, тотожний для всіх десяти інтервалів. Отримані результати підтверджуються експертними оцінками.

Підтвердження функціональності створеної надбудови в Excel було проведено шляхом порівняння результатів, отриманих при аналогічній обробці досліджуваного ряду в програмі ITSM 2000. Порівняння результатів показало їх ідентичність. Доведено, що модулі надбудови працюють якісно.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гайдышев И.П. Решение научных и инженерных задач средствами Excel, VBA и C/C++ / И.П. Гайдышев – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 512 с.
2. Дорош Н. Л., Храпач Ю. О. Результаты разработки надбудовы MS Excel для обработки часовых рядов // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2 (97). – Дніпропетровськ, 2015. – С. 8-12.
3. Архангельский А.Я. Программирование в C++Builder 6 / А.Я. Архангельский – М.: издательство «Бином», 2008. – 1152 с.
4. Отнес Р. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы / Р. Отнес, Л. Эноксон. Пер. с англ. под ред. В. И. Хохлова. – М.: Мир, 1982. – 428 с.
5. Дженкинс Г. Спектральный анализ и его приложения. Выпуск 1 / Г. Дженкинс, Д. Ваттс – М.: Мир, 1971. – 462 с.
6. Солонина А.И. Цифровая обработка сигналов и MATLAB: учеб. пособие / А. И. Солонина, Д. М. Клионский, Т. В. Меркучева, С. Н. Перов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 512 с.
7. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов / Р. Лайонс – М.: Бином, 2006. – 656 с.
8. ITSM 2000 Professional Version 6.0, developed by Peter J. Brockwell and Richard A. Davis, B&D Enterprises, Inc., Copyright 1999.
9. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры. / Р.В. Хемминг, пер. с англ. под ред. А.М. Трахтмана. – М.: Сов. радио, 1980.- 224 с.

О.Л. Беспалов, К.Д. Соколов, С.В. Приходько,
О.В. Замковой, Д.А. Шевченко, С.А. Мельник,
Н.Н. Новиков, Д.С. Овчарук, В.В. Солоха

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФЕРРОНИКЕЛЯ ИЗ РУД РАЗЛИЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Анотація. У роботі наведені результати порівняльного аналізу показників виробництва феронікелю в умовах Побузького феронікелевого комбінату з використанням нікель сировини вітчизняного (Капітанівського) і зарубіжних (Нова Каледонія, Індонезія, Гватемала) родовищ. Впровадження в виробництво інноваційно-інвестиційних заходів: попередня сушка руди; отримання недогарка в трубчастих обертових печах з використанням пиловугільного палива (ПВП); реконструкція печі № 1, яка дозволила підвищити її фактичну потужність до 42 МВт; освоєння технології виплавки чорного феронікелю в цій печі з недоліком відновлення і ін. забезпечили можливість значно знизити собівартість продукції і підвищити ефективність виробництва. Методом рентгеноспектрального мікроаналізу (РСМА) досліджено розподіл домішкових елементів в пробах чорного феронікелю традиційної і освоюваної технологій. Показано, що сірка знаходиться в вигляді сульфіду марганцю (MnS), а її зміст в 2 рази вище, ніж в звичайному сплаві.

Ключові слова: нікелеву сировину, рудотермічних піч, сірка, рафінування, плав соди, РСМА, сульфіди.

Производство ферроникеля электротермическим способом из окисленных никельсодержащих руд является наиболее распространенным и, при всей сложности и энергоемкости, одновременно самым эффективным технологическим процессом [1, 2]. Под современной технологией выплавки ферроникеля понимается комплекс технических приемов и средств их реализации, обеспечивающий выплавку сплава заданного состава, эффективное управление процессами при рациональном использовании сырья и максимальной утилизации техногенных отходов. Такая технология должна обеспечивать ста-

© Беспалов О.Л., Соколов К.Д., Приходько С.В., Замковой О.В., Шевченко Д.А., Мельник С.А., Новиков Н.Н., Овчарук Д.С., Солоха В.В., 2017

бильную работу, долгосрочную эксплуатацию, надежность работы оборудования и футеровки электропечей при максимальной эффективности производства для данных условий и экологических ограничений.

Повышение требований к качеству сплава, ужесточение экономических и экологических требований диктуют необходимость дальнейшего повышения эффективности технологического процесса плавки.

Побужский ферроникелевый комбинат введен в эксплуатацию в декабре 1972 года. В 2000 году преобразован в ООО «Побужский ферроникелевый комбинат» (ООО «ПФК») – единственное в постсоветском пространстве горно-металлургическое предприятие с технологией прямой переработки (без обогащения и окускования) до 1,5 млн. тонн окисленной никелевой руды в год и получения до 100–120 тыс. тонн ферроникеля (сплава железа с никелем).

После длительной аварийной обстановки при восстановлении деятельности комбината в 2003 году были поставлены задачи модернизации, реконструкции производства, автоматизации производственных процессов, строительства новых участков с использованием передового опыта электротермистов отечественных и зарубежных предприятий, лучших разработок украинских и зарубежных научно-исследовательских организаций и институтов. Конечная цель – создание полностью безотходного, экологически чистого производства ферроникеля с минимальным расходом энергетических и технологических ресурсов на единицу производимой продукции и полной утилизацией вторичных материалов.

Действующая в настоящее время на ООО «ПФК» технологическая схема производства ферроникеля (рис. 1) претерпела значительные изменения и усовершенствования.

На комбинате внедрена технология предварительной сушки никельсодержащей руды, которая поступает от поставщика с влажностью более 35 % и снижается в процессе сушки до 20 %.

За период освоения технологии производства ферроникеля на ПФК с использованием никельсодержащей руды различных месторождений большое внимание уделялось поискам альтернативных энергоносителей при получении огарка в трубчатых вращающихся печах (ТВП) диаметром 4,5 м и длиной 70 м. Комбинат начинал рабо-

тать, используя для получения огарка мазут, затем был подключен к магистрали природного газа, построив своими силами газопровод длиной 90 км, а в настоящее время, учитывая сложившуюся ситуацию с ценой на газ, внедрена технология обжига шихтовой смеси в ТВП, использующей пылеугольное топливо (ПУТ), что позволило почти в 3 раза снизить затраты в сравнении с работой на природном газе.

Большое внимание уделяется качеству, фракционному составу и установлению оптимального соотношения компонентов восстановительной смеси [3, 4], обеспечивающего получение ферроникеля с минимальным расходом электроэнергии на 1 тонну огарка и состава, позволяющего наиболее рационально вести режим дальнейшего рафинирования по схеме – ковшевая десульфурация кальцинированной содой или плавом соды и конвертерное рафинирование от Si, C, Mn, Cr, P и S.

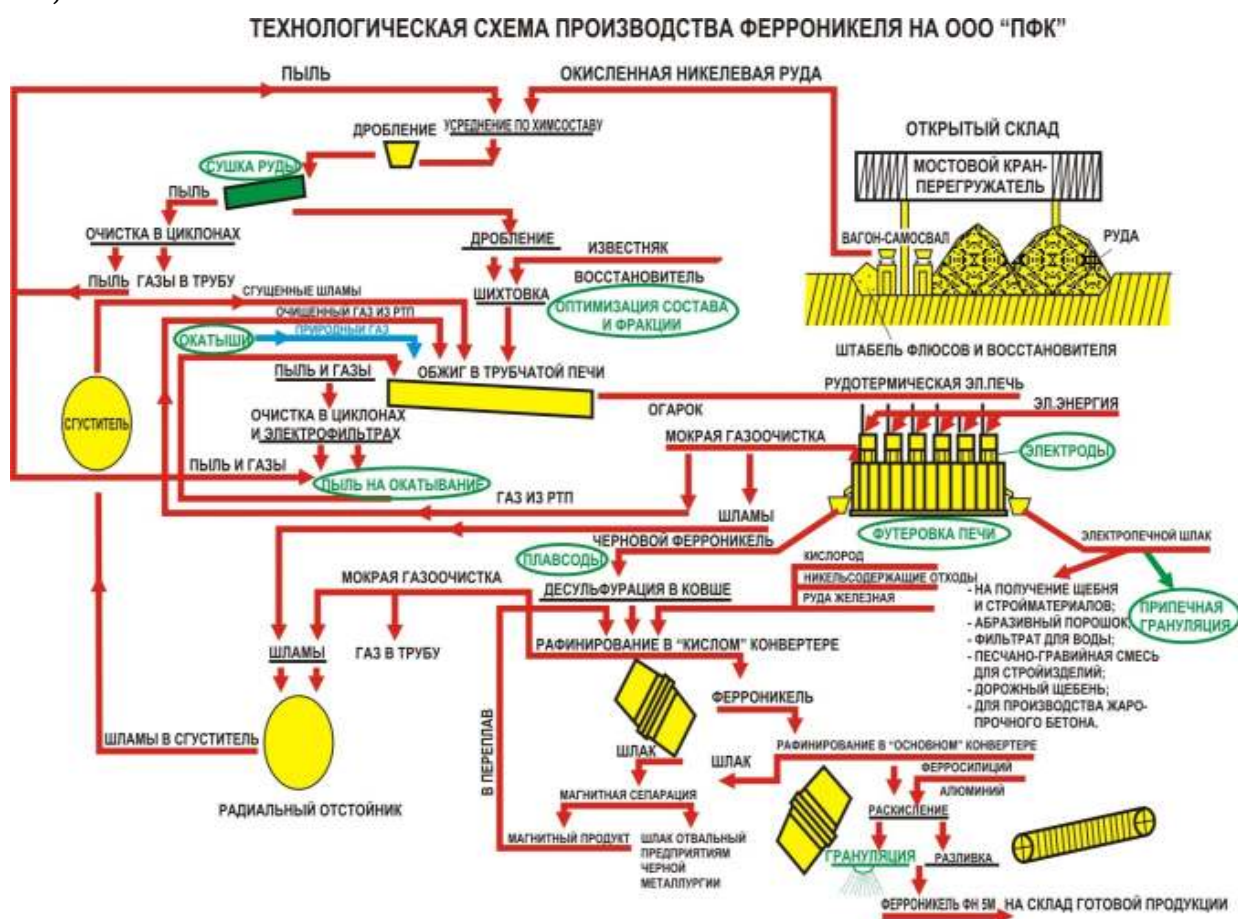


Рисунок 1 - Технологическая схема производства ферроникеля на ООО «ПФК»

Производство ферроникеля характеризуется высокой кратностью шлака, которая в зависимости от качества никельсодержащего сырья колеблется от 6 до 10, что обуславливает необходимость оперативной эвакуации высокотемпературных (1400–1600 °С) оксидных продуктов из печных агрегатов. В цехе внедрена система припечной грануляции шлаков, что позволило значительно сократить количество разливочной посуды, расширить возможность его утилизации и наметить пути извлечения микрокоролек чернового ферроникеля высокоинтенсивным магнитным полем.

Кислые электропечные шлаки производства чернового ферроникеля $\left(B = \frac{CaO + MgO}{SiO_2} = 0,65 \right)$ оказывают агрессивное воздействие на футеровку, особенно в зоне шлакового пояса и на границе перехода шлак – металл.

Многочисленные исследования и разработки как отечественных, так и зарубежных специалистов [5, 6, 7], направленные на повышение стойкости футеровки, продление срока ее службы и увеличение периода межкапитального ремонта, пока не привели к существенным результатам и не приблизились к показателям, достигнутым электротермистами при производстве марганцевых ферросплавов в аналогичных электропечах типа РПЗ-63, которые повысили срок службы печей до 20–25 лет [8].

В сентябре 2011 года на комбинате для производства чернового ферроникеля канадской фирмой Hatch была введена в эксплуатацию печь РТП-1, конструкция которой обеспечивает возможность работы на демпфирующей футеровке [5]. Эксплуатация печи в течение длительного периода покажет перспективность ее использования при многошлаковых процессах производства ферроникеля.

В современных условиях рецессии и снижения объема производства металлопродукции усилия ученых и металлургов направлены на повышение качества продукции, снижение энергетических, материальных затрат и себестоимости продукции, внедрению природоохранных мероприятий, обеспечивающих полную утилизацию вторичных ресурсов и охрану среды обитания.

Колошниковые газы рудотермических печей полностью используются в качестве частичной замены энергетических углей, используемых как пылеугольное топливо при получении огарка, сухая

пыль газоочисток, содержащая Ni – 2,8 %; Fe – 23,5 %; SiO₂ – 34,3 %; CaO – 2,4 %; MgO – 15,6 %; Al₂O₃ – 3,4 %, применяется для снижения влажности исходной никельсодержащей руды перед подачей ее на сушильные барабаны.

Высокомагнезиальные электропечные шлаки используются для рекультивации отработанных карьеров, производства строительного щебня, абразивных материалов, оптимизации шлакового режима при производстве марганцевых сплавов и в других направлениях.

Высокоосновные рафинировочные шлаки (В = 2,2–2,4), содержащие свыше 40 % железа, находят применение при выплавке чугуна в доменной печи и производстве офлюсованных материалов.

Побужский ферроникелевый комбинат изначально ориентировался на переработку отечественных окисленных никелевых руд Капитановского месторождения. Поскольку местное месторождение бедной окисленной никелевой руды в настоящее время практически выработано, комбинат перешел на импортную руду. Вначале поставлялась руда из Новой Каледонии, затем – из Индонезии. В связи с тем, что Индонезия с 2013 года прекратила экспорт руды, ПФК перешел на гватемальскую руду. Химический состав руд различных месторождений приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав руд различных месторождений

Наименование месторождения	Химический состав, % по массе						
	Ni	Fe	SiO ₂	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
Новая Каледония (2006 г.)	2,22	14,89	38,77	1,11	20,60	1,66	1,74
Индонезия 2006–2012 г.г.)	2,08	12,62	42,95	1,05	21,45	1,18	1,91
Гватемала (2013–2016 г.г.)	1,88	15,66	34,8	1,23	22,0	0,98	2,7

На ПФК работают две руднотермические электропечи установленной мощностью трансформаторов 48 МВ·А (табл. 2).

Удельный расход электроэнергии на сырье различных месторождений

Наименование месторождений	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т огарка
Новая Каледония	650
Индонезия	620
Гватемала (старая технология)	600
Гватемала (технология низкого восстановления металлов РТП-1)	580

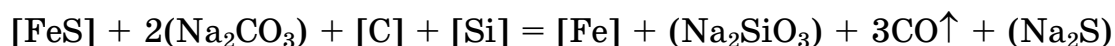
Электроплавку осуществляли и осуществляют, используя огарок с температурой 700–800 °С – при работе на отечественном сырье следующего состава, %: 0,7–0,9 Ni; 0,03–0,05 Co; 15–18 Fe; 36–45 SiO₂; 16–20 CaO; 4–6 MgO; на сырье Гватемалы состава, %: 2,10–2,15 Ni; 0,05–0,06 Co; 18,5–19,7 Fe; 35,0–37,5 SiO₂; 23,0–25,0 MgO; CaO. Восстановление огарка идет за счет углерода антрацита марки АС или антрацитового штыба марки АШ.

Черновой ферроникель с 10–14 % Ni имеет высокое содержанием серы, поступающей из углеродистого восстановителя и из руды, подвергается рафинированию, а затем разливается на разливочной машине или гранулируется.

Процесс рафинирования черного ферроникеля выполняется в три стадии:

1. Внепечная десульфурация жидкого черного ферроникеля.
2. Рафинирование от примесей углерода, кремния и хрома в вертикальных конвертерах с «кислой» футеровкой и верхней продувкой кислородом.
3. Рафинирование от серы, фосфора и доводка металла по химсоставу и температуре в вертикальном конвертере с «основной» футеровкой и верхней продувкой кислородом.

Внепечная десульфурация черного ферроникеля производится кальцинированной содой, плавом соды или их смесью в ковше для металла непосредственно при выпуске черного ферроникеля из РТП. Процесс десульфурации кальцинированной содой основан на образовании устойчивого сульфида натрия, концентрирующегося в шлаке:



После припечной десульфурации металл с содовым шлаком переливают в ковш с плавом соды. Образующийся после повторной обработки содовый шлак скачивается с поверхности металла деревянными скребками в чашу с «содовым» шлаком, а рафинированный от серы металл заливается в «кислый» конвертер.

Рафинирование ферроникеля в кислом конвертере (после ковшевой десульфурации) предусматривает снижение содержания кремния, хрома и частично углерода. При этом для шихтовки используется никельсодержащий лом, твердый ферроникель, оборотный скрап, крупная магнитная фракция после магнитной сепарации шлака, лом черных металлов.

Из-за повышенной эрозии динасовой футеровки в кислом конвертере окисляется только часть кремния и углерода, а остальное количество этих примесей удаляется при кислородном конвертировании в основном конвертере.

Химический состав чернового ферроникеля, в зависимости от качества никельсодержащего сырья различных месторождений, приведен в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав чернового ферроникеля различных месторождений

Наименование месторождения	Химический состав, % масс.						
	Ni	Si	Cr	C	S	P	Fe
Новая Каледония	16,89	1,93	1,29	2,84	0,3	0,02	остальное
Индонезия	18,51	4,02	1,53	2,55	0,26	0,0313	остальное
Гватемала (старая технология)	13,41	3,41	2,11	2,79	0,17	0,053	остальное
Гватемала (технология низкого восстановления металлов РТП-1)	43,0	0,01	0,04	0,03	0,48	0,064	остальное

В настоящее время на Побужском ферроникелевом комбинате на РТП-1 освоена технология производства чернового ферроникеля с

недостатком восстановителя (или технология низкого восстановления железа). При этом содержание никеля в черновом ферроникеле превысило 40 %, а содержание кремния и углерода уменьшилось $\approx$ до 0,01 %, что исключает возможность проводить процесс ковшевой десульфурации содой. При этом в два раза повысилось содержание серы, что составило около 0,5 %, а также значительно вырос расход электродной массы (в 5–8 раз).

В данный момент для повышения эффективности процесса десульфурации было принято решение смешивать электропечной ферроникель, выплавляемый по старой технологии на РТП-2, с электропечным ферроникелем, выплавляемым с недостатком восстановителя на РТП-1. Это дало возможность несколько улучшить процесс десульфурации, но проблему с высоким содержанием серы не решает. В табл. 4 приведен химический состав черного ферроникеля на РТП-1 и РТП-2, произведенного по разным технологическим схемам.

Таблица 4

Химический состав черного ферроникеля

Печь	Содержание элементов, % масс.							
	Ni	Co	Si	Cr	S	C	P	Cu
РТП-1	43,0	0,42	0,01	0,02	0,5	0,014	0,065	0,063
РТП-2	14,5	0,27	3,90	1,8	0,25	2,5	0,064	0,032

Для изучения поведения серы в процессе производства черного ферроникеля были отобраны пробы сплава и проведены исследования на установке РСМА (рентгеноспектральный микроанализатор). Результаты исследований приведены на рис. 2 и 3, из которых видно, что основное количество серы расположено на границах зерен и представлены соединениями MnS и NiS.

Структурный и фазовый анализ металла исследовали с использованием метода рентгеноспектрального микроанализа и растровой электронной микроскопии.

Исследования черного ферроникеля, выполненные по указанной методике, показали, что черновой ферроникель состоит из фаз различной отражательной способности: темной и светлой.

Запись спектров характеристического рентгеновского излучения показала, что все они имеют разный состав. Темная фаза содер-

жит окислы железа и, частично, серы. Светлая фаза, в основном, состоит из железа и никеля.

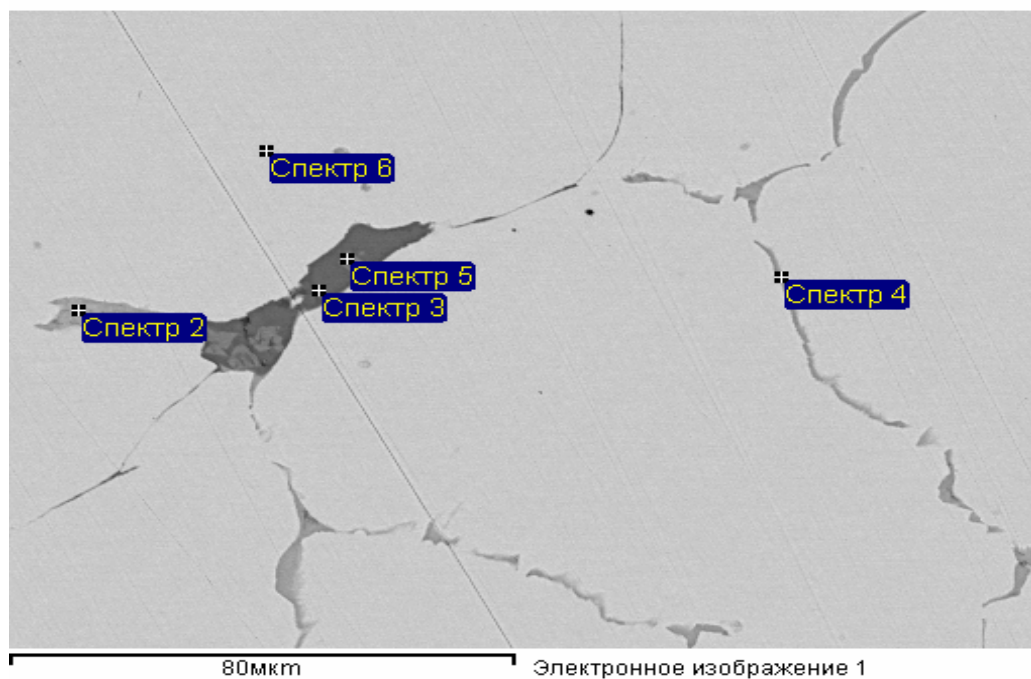


Рисунок 2 - Образец № 1, РТП-1 (Ni – 43,0; Si – 0,01; Cr – 0,2; S – 0,5; C – 0,14; P – 0,065; Cu – 0,063)

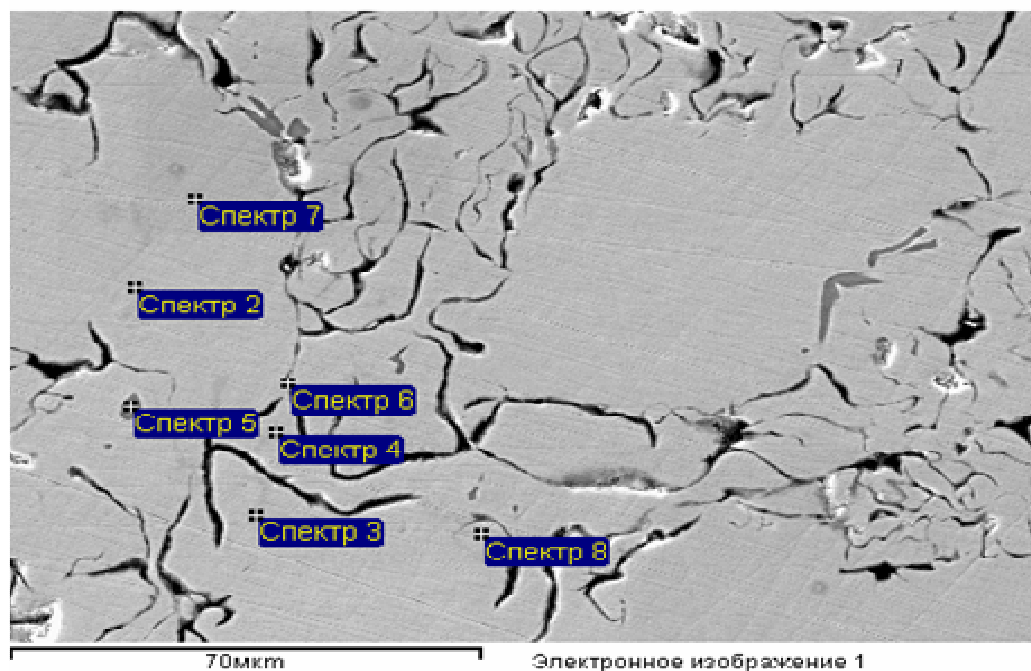


Рисунок 3 - Образец № 2, РТП-2 (Ni – 14,5; Co – 0,27; Si – 3,9; Cr – 1,8; S – 0,25; C – 2,5; P – 0,064; Cu – 0,032)

Проведенные исследования позволили впервые применительно к условиям ПФК изучить фазовый состав и структуру чернового ферроникеля, выплавляемого по разным технологиям, и подтвердить характер распределения в нем серы.

Выводы

Результаты выполненных исследований показали, что использование никельсодержащего сырья зарубежных месторождений, содержащего концентрацию никеля в 1,5–2,5 раза выше, чем в отечественном, позволило значительно улучшить технико-экономические показатели и уменьшить энергетические затраты на 90–120 кВт·ч в сравнении с отечественной рудой.

Внедрение в производство чернового ферроникеля предварительной сушки руды, получение огарка в трубчатых печах с использованием пылеугольного топлива (ПУТ), реконструкция печи № 1, позволившая повысить ее фактическую мощность до 42 МВт, освоение в ней технологии выплавки сплава с недостатком восстановителя, позволившей получать ферроникель, содержащий более 40 % Ni, утилизация вторичных никельсодержащих материалов дало возможность значительно снизить себестоимость продукции. Это позволило комбинату занять 5-е место в рейтинге ТОП-10 экспортеров металлургической продукции [9].

Работа печи с недостатком восстановителя приводит к повышению содержания серы до 0,5 % и снижению содержания кремния и углерода в ферроникеле, что затрудняет проведение припечной десульфурации кальцинированной содой или плавом соды.

Исследовано распределение серы и других элементов в образцах чернового ферроникеля методом РСМА. Показано, что основное количество серы находится в соединении с марганцем, образуя сульфид MnS.

В дальнейшем предусматриваются исследования поведения серы и других примесных элементов на всей технологической цепочке производства. Намечен путь совершенствования технологической схемы рафинирования чернового ферроникеля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гасик М.И. Физикохимия и технология электроферросплавов: Учебник для вузов / Гасик М.И., Лякишев Н.П. – Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 2005 – 448 с.
2. Грань Н.И., Оницин Б.П. и Майзель Е.И. Изд-во «Металлургия», 1971. – С. 248.
3. Способ выплавки чернового ферроникеля с оптимальным содержанием кремния. Патент № 62847 от 12.09.2011г. Бюл. № 17, авт. Гасик М.И., Новиков Н.В., Соколов К.Д. и др.
4. Восстановительная смесь для электротермического производства ферроникеля. Патент Украины № 109001 от 10.08.2016г. Бюл. № 15, авт. Беспалов О.Л., Приходько С.В., Данов О.В. и др.
5. Совместная реконструкция печи № 1 на Побужском ферроникелевом комбинате. М.Джастребески, Т.Кохпер, К.Воллас, Н.В.Новиков и др.
6. Исследование работы футеровки рудотермических печей при выплавке ферроникеля / Соколов К.Д., Капран И.И., Лихачев В.Ф. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. – № 6. – С. 32–35.
7. Анализ условий и причин износа огнеупоров при выплавке ферроникеля / К.Д.Соколов, А.Н.Овчарук, Н.В.Новиков, И.И.Капран // Сучасні проблеми металургії. – 2003. – С. 198.
8. Рудовосстановительные электропечи повышенной мощности – новый этап в развитии электротермии на стыке двух тысячелетий / Сучасні проблеми металургії. Том 19, выпуск 1 (2016). Наукові вісті. – Дніпро: НМетАУ, 2016. – с. 254–260.
9. Бизнес № 51–52 (1194–1195), 21 декабря 2015г., с. 22.

ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ЗУБЧАТОЇ ПЕРЕДАЧІ ТА ПРОФІЛЬ ЗУБА

Анотація. Робота присвячена дослідженню особливостей геометричних параметрів зубчастого зачеплення та профілю зуба. Розглянуто евольвентний, прямолінійний та трикутний профілі зуба та виконано порівняння розрахованих параметрів.

Ключові слова: зубчасте зачеплення, евольвентний профіль, прямолінійний профіль, трикутний профіль.

Зубчасті механізми є найбільш поширеним видом механічних передач в машинобудуванні і приладобудуванні. Такі передачі застосовують для передачі обертального руху з одного вала на інший або для перетворення обертального руху в поступальний зі зміною швидкості обертання валів.

Зубчасті передачі можна класифікувати за різними ознаками. За характером розташування валів: з паралельними, пересічними і перехресними осями; за формою профілів зубів: евольвентні, циклоїдальні, кругові та інші; передачі із зовнішнім і внутрішнім зачепленням. Залежно від призначення передачі зуби можуть бути прямими, косими, шевронними, криволінійними.

Зубчасті механізми – механізми, в яких передача руху від однієї ланки до іншої відбувається за допомогою зубців, які нанесені на поверхню ланки. Зубчаста передача відноситься до передач зачепленням з безпосереднім контактом пари зубчастих коліс. Менше з коліс передачі прийнято називати шестернею, а більше - колесом.

Розрахунок основних параметрів зубчастого зачеплення регламентовано Стандартом ГОСТ 13755-81(Основні норми взаємозамінності. Передачі зубчасті циліндричні евольвентні. Вихідний контур) та було розглянуто в попередній роботі [1].

Для дослідження геометричних параметрів зубчатої передачі та профілю зуба складаємо рівняння кіл, та рівняння сторін зубів.

Рівняння кіл:

$$\begin{aligned}
xa1(\varphi) &:= R_{a1} \cdot \cos(\varphi) & ya1(\varphi) &:= R_{a1} \cdot \sin(\varphi) \\
xf1(\varphi) &:= R_{f1} \cdot \cos(\varphi) & yf1(\varphi) &:= R_{f1} \cdot \sin(\varphi) \\
xb1(\varphi) &:= R_{b1} \cdot \cos(\varphi) & yb1(\varphi) &:= R_{b1} \cdot \sin(\varphi) \\
xw1(\varphi) &:= R_{w1} \cdot \cos(\varphi) & yw1(\varphi) &:= R_{w1} \cdot \sin(\varphi)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
xa2(\varphi) &:= a_w - R_{a2} \cdot \cos(\varphi) & ya2(\varphi) &:= R_{a2} \cdot \sin(\varphi) \\
xf2(\varphi) &:= a_w - R_{f2} \cdot \cos(\varphi) & yf2(\varphi) &:= R_{f2} \cdot \sin(\varphi) \\
xb2(\varphi) &:= a_w - R_{b2} \cdot \cos(\varphi) & yb2(\varphi) &:= R_{b2} \cdot \sin(\varphi) \\
xw2(\varphi) &:= a_w - R_{w2} \cdot \cos(\varphi) & yw2(\varphi) &:= R_{w2} \cdot \sin(\varphi)
\end{aligned}$$

де $\varphi = -0.3\pi$ - змінна для побудови всіх кіл.

Рівняння передніх сторін перших зуб'їв шестерні та колеса (передаючих напругу):

$$\begin{aligned}
x1(t) &:= R_{b1} \cdot (\cos(t - \delta) + t \cdot \sin(t - \delta)) & y1(t) &:= R_{b1} \cdot (\sin(t - \delta) - t \cdot \cos(t - \delta)) \\
x2(t) &:= a_w - R_{b2} \cdot (\cos(t - \delta) + t \cdot \sin(t - \delta)) & y2(t) &:= -R_{b2} \cdot (\sin(t - \delta) - t \cdot \cos(t - \delta))
\end{aligned}$$

$$\delta_1 := \frac{2 \cdot \pi}{z_1}$$

$$\delta_2 := \frac{2 \cdot \pi}{z_2}$$

де δ_1 - кут нахилу передньої сторони зуба колеса; δ_2 - кут нахилу передньої сторони зуба шестерні.

$$\Delta 1 := t_3 - \alpha + 0.5 \cdot \delta_1$$

$$\Delta 2 := t_3 - \alpha + 0.5 \cdot \delta_2$$

де $\Delta 1$ - кут нахилу задньої сторони зуба колеса; $\Delta 2$ - кут нахилу задньої сторони зуба шестерні.

Також для побудови необхідні рівняння задніх сторін перших зуб'їв шестерні та колеса (не передаючих напругу).

$$x'(t) := R_{b1} \cdot (\cos(t - \Delta 1) + t \cdot \sin(t - \Delta 1)) \quad y'(t) := -R_{b1} \cdot (\sin(t - \Delta 1) - t \cdot \cos(t - \Delta 1))$$

$$x''(t) := a_w - R_{b2} \cdot (\cos(t - \Delta 2) + t \cdot \sin(t - \Delta 2)) \quad y''(t) := R_{b2} \cdot (\sin(t - \Delta 2) - t \cdot \cos(t - \Delta 2))$$

Далі задаємо рівняння сторін для кожного зуба шестерні. Рівняння сторін другого зуба шестерні:

$$\begin{aligned}
x3(t) &:= R_{b1} \cdot (\cos(t - \delta - \delta_1) + t \cdot \sin(t - \delta - \delta_1)) & x7(t) &:= R_{b1} \cdot (\cos(t - \Delta 1 + \delta_1) + t \cdot \sin(t - \Delta 1 + \delta_1)) \\
y3(t) &:= R_{b1} \cdot (\sin(t - \delta - \delta_1) - t \cdot \cos(t - \delta - \delta_1)) & y7(t) &:= -R_{b1} \cdot (\sin(t - \Delta 1 + \delta_1) - t \cdot \cos(t - \Delta 1 + \delta_1))
\end{aligned}$$

Рівняння сторін другого зуба колеса:

$$\begin{aligned}
x6(t) &:= a_w - R_{b2} \cdot (\cos(t - \delta + \delta_2) + t \cdot \sin(t - \delta + \delta_2)) & x8(t) &:= a_w - R_{b2} \cdot (\cos(t - \Delta 2 - \delta_2) + t \cdot \sin(t - \Delta 2 - \delta_2)) \\
y6(t) &:= -R_{b2} \cdot (\sin(t - \delta + \delta_2) - t \cdot \cos(t - \delta + \delta_2)) & y8(t) &:= R_{b2} \cdot (\sin(t - \Delta 2 - \delta_2) - t \cdot \cos(t - \Delta 2 - \delta_2))
\end{aligned}$$

Рівняння сторін останнього зуба шестерні:

$$\begin{aligned}x5(t) &:= R_{b1} \cdot (\cos(t - \delta + \delta_1) + t \cdot \sin(t - \delta + \delta_1)) & x9(t) &:= R_{b1} \cdot (\cos(t - \Delta 1 - \delta_1) + t \cdot \sin(t - \Delta 1 - \delta_1)) \\y5(t) &:= R_{b1} \cdot (\sin(t - \delta + \delta_1) - t \cdot \cos(t - \delta + \delta_1)) & y9(t) &:= -R_{b1} \cdot (\sin(t - \Delta 1 - \delta_1) - t \cdot \cos(t - \Delta 1 - \delta_1))\end{aligned}$$

Рівняння сторін останнього зуба колеса:

$$\begin{aligned}x4(t) &:= a_w - R_{b2} \cdot (\cos(t - \delta - \delta_2) + t \cdot \sin(t - \delta - \delta_2)) & x0(t) &:= a_w - R_{b2} \cdot (\cos(t - \Delta 2 + \delta_2) + t \cdot \sin(t - \Delta 2 + \delta_2)) \\y4(t) &:= -R_{b2} \cdot (\sin(t - \delta - \delta_2) - t \cdot \cos(t - \delta - \delta_2)) & y0(t) &:= R_{b2} \cdot (\sin(t - \Delta 2 + \delta_2) - t \cdot \cos(t - \Delta 2 + \delta_2))\end{aligned}$$

На рисунку 1 побудована схема зачеплення шестерні та колеса із заданими параметрами.

При побудові розрізняють теоретичну і активну лінію зачеплення. Теоретичною лінією зачеплення називають відрізок MN дотичної до основних кіл, який міститься між точками дотику М і N. Активною лінією зачеплення називають відрізок LK теоретичної лінії зачеплення, який міститься між точками перетину її з колами вершин зубів.

Далі, за допомогою наведених рівнянь отримуємо графік побудови зачеплення зубів колеса (К) та шестерні (Ш) (рисунк 2).

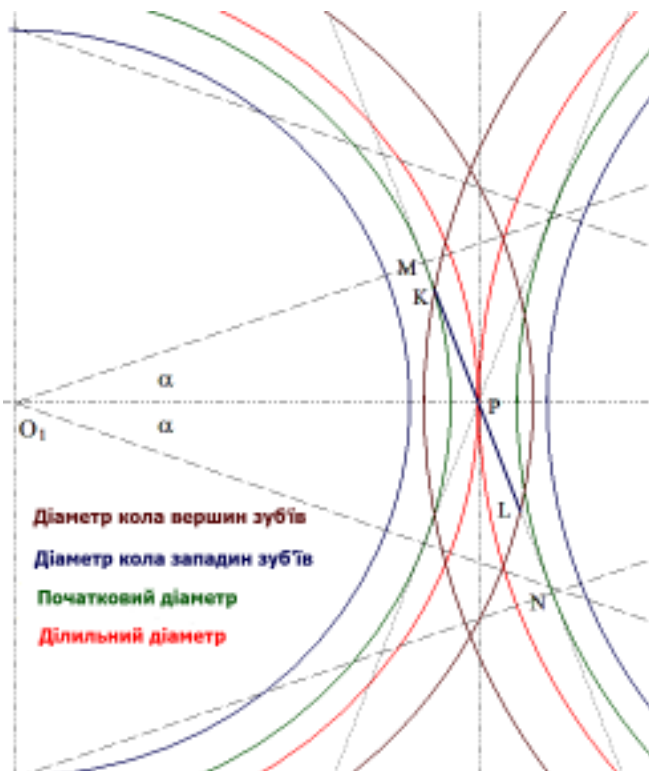


Рисунок 1 – Схема зачеплення

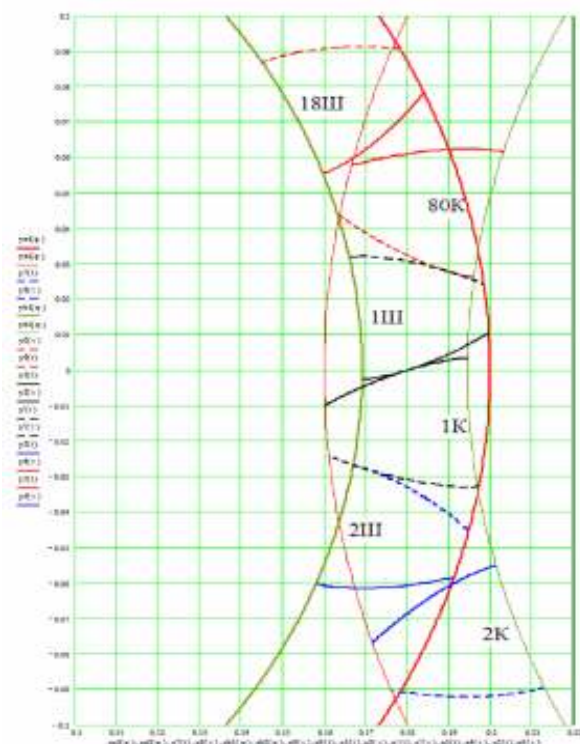


Рисунок 2 – Побудова зубчастого зачеплення

Профіль зуба – лінія перетину бічної поверхні зуба площиною, нормальною до лінії зуба. В даній роботі розглянуто три види профілю зуба: евольвентний, прямолінійний та трикутний.

Якісні показники дають можливість при проектуванні передачі оцінити плавність і безшумність зачеплення, міцність і можливий знос зубів коліс в порівнянні з іншими передачами. Така оцінка важлива для раціонального вибору коефіцієнтів зміщення інструменту при проектуванні передач [2].

До основних показників якості належать:

Коефіцієнт ковзання — характеристика, яка застосовується при виконанні технічних розрахунків, що характеризують фрикційні взаємодії двох тіл. У залежності від виду переміщення одного тіла по іншому розрізняють: коефіцієнт тертя при зсуві, ковзання і коефіцієнт тертя при коченні. У свою чергу, при ковзанні в залежності від величини тангенціальної сили розрізняють коефіцієнт неповного тертя ковзання, коефіцієнт тертя спокою і коефіцієнт тертя ковзання. Всі ці коефіцієнти тертя можуть змінюватися в широких межах в залежності від шорсткості і хвилястості поверхонь, характеру плівок, що покривають поверхні.

$$\lambda'' = \frac{z_2(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha_{\text{tw}})}{(z_1 + z_2) \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\text{tw}} - z_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \cdot \left(1 + \frac{z_1}{z_2}\right)$$

Коефіцієнт питомого тиску. Геометрично коефіцієнт питомого тиску характеризує контактну міцність. Сумарне позитивний зсув вихідних контурів призводить до зменшення коефіцієнта питомого тиску, тобто призводить до підвищення контактної міцності.

$$\sigma_{\text{н}} = 0.418 \cdot \frac{F_{\text{н}} \cdot E}{b_{\text{w}} \cdot \rho^{\text{пр}}}$$

Коефіцієнт перекриття дозволяє оцінювати безперервність і плавність зачеплення в передачі. Ці якості передачі забезпечуються перекриттям за часом в роботі двох пар зубів: кожна наступна пара зубів повинна увійти в зачеплення до того, як попередня пара вийде з нього. Про величину перекриття в прямозубій передачі судять за коефіцієнтом торцевого перекриття, який є відношенням кута торцевого перекриття зубчастого колеса до його кутового кроку. Прямозуба передача повинна мати коефіцієнт перекриття більше одиниці.

$$g_{\alpha} = r_2 \cdot (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha_{\text{tw}}) + r_1 \cdot (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha_{\text{tw}})$$

Не змінюючи жодних параметрів зубчастого зачеплення, окрім куту нахилу головного профілю та геометричної форми зуба, проведемо розрахунок показників якості для евольвентного, прямолінійного та трикутного профілю. Результати розрахунків наведено в таблиці.

Таблиця 1

Порівняння розрахунків показників якості

	Коефіцієнт ковзання λ''	Коефіцієнт питомого тиску σ_H	Коефіцієнт перекриття ξ_a
Евольвентний профіль	31,5	$9,77 \cdot 10^4$	4140
Прямолінійний профіль	3,9	$3,6 \cdot 10^4$	1,84
Трикутний профіль	26,34	$2,45 \cdot 10^4$	113,03

На рисунках 3-5 зображено зачеплення колеса та шестерні для евольвентного, прямолінійного та трикутного профілю, позначено точки перетину зуб'ів.

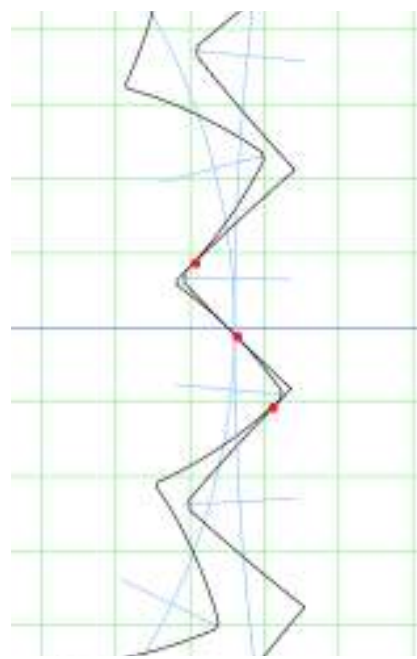
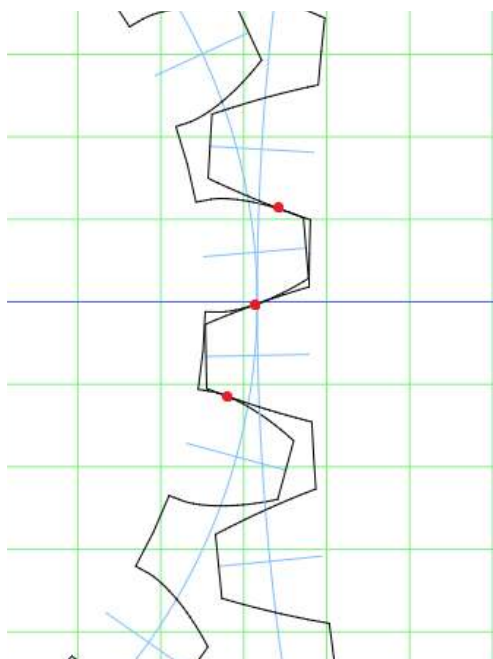


Рисунок 3 – Евольвентний профіль Рисунок 4 - Трикутний профіль

Відповідно вимогам ГОСТУ 19326-73 (Зубчасті конічні передачі) кут головного профілю α має бути не менше 10° . Якщо не дотримуватися вимог, зазначених раніше, то виникає помилка при зачепленні зубів (рисунок 6).

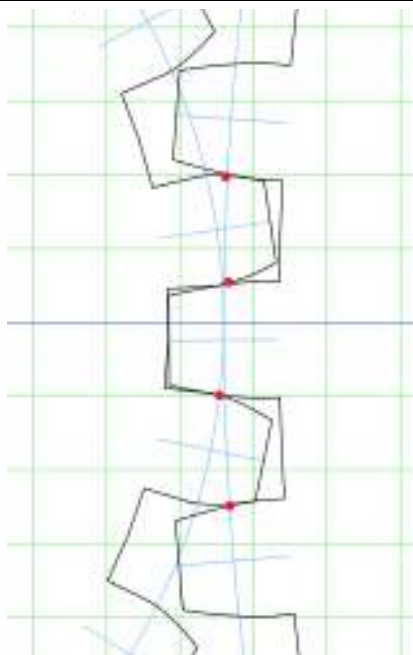


Рисунок 5 - Прямолінійний профіль

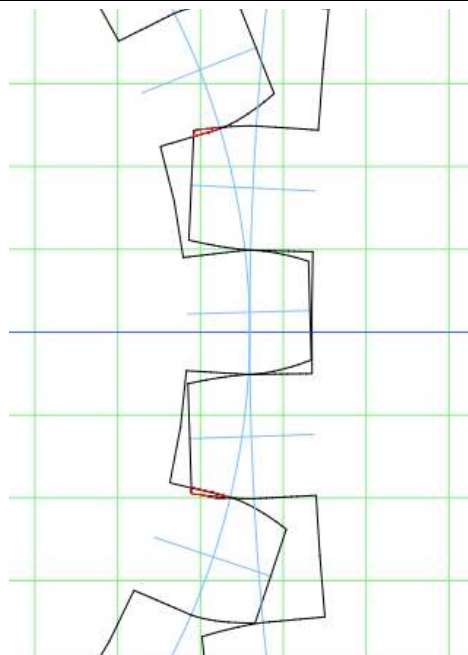


Рисунок 6 – Помилка зачеплення

Після аналізу розрахунків можна зробити висновок, що найменший коефіцієнт питомого тиску, а отже найбільша контактна міцність присутні у трикутному профілі. Це означає, що зубчасте зачеплення такого профілю можна використовувати у агрегатах з великим навантаженням, або для підйому вантажу з великою вагою. Хоча існує недолік - швидке зношування через великі навантаження. Тому дуже важливо слідкувати за правильною експлуатацією такого зубчастого зачеплення.

Найкращі показники коефіцієнтів ковзання та перекриття має евольвентний профіль, тому зношується така передача досить повільно. Також вона має найменшу контактну міцність, тому використовується не для приладів з великим навантаженням, а для плавної і тихої роботи механізму.

Найгірші показники у прямолінійного профілю, тому для роботи циліндричної передачі такий профіль підходить найменше через дуже швидке зношування зуба. Але застосування прямолінійного профілю зубів на колесі дозволяють використовувати принципово нову технологію зубонарізування – спосіб зубонарізування методом трепанації, при якому чорнове фрезерування зубів проводиться дисковими прорізними фрезами, а чистове обробка за профілем зубів високо-

швидкісними торцевими фрезами, що забезпечують отримання необхідної шорсткості робочої поверхні зубів.

ЛІТЕРАТУРА

1. І.С.Дмитрієва, Е.О. Сухойван Розрахунок параметрів зубчастого зачеплення та їх проектування // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Випуск 3 (104). - Дніпропетровськ: НМетАУ, ІВК "Системні технології", 2016. - С. 79 - 84.
2. Прудников В.В. - Фазовые переходы и методы их компьютерного моделирования: учебное пособие / В.В. Прудников – М.: Физматлит, 2009.-224 с.
3. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / под ред. И.Н.Жестковой // - М: Машиностроение, 2006. - 928 с.

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОНТРЯГИНА
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СРЕДНЕГО ОБЪЕМА ГРУЗА
В АККУМУЛИРУЮЩЕМ БУНКЕРЕ,
РАБОТАЮЩЕМ В РЕЖИМЕ ПОДДЕРЖАНИЯ
В НЕМ ОБЪЕМА ГРУЗА В ЗАДАННЫХ ПРЕДЕЛАХ**

Аннотация. На основании метода Понтрягина для марковских процессов с непрерывным временем и дискретным состоянием получены системы уравнений относительно средних времен достижения заданных максимальных и минимальных объемов груза в аккумулирующем бункере, работающем в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах. Получена зависимость среднего объема груза в бункере от производительности питателя. Результаты аналитических исследований отличаются от результатов имитационного моделирования на 10–15 %.

Ключевые слова: марковский процесс, метод Понтрягина, аккумулирующий бункер, средний объем груза, режим функционирования, система конвейерного транспорта.

Для создания системы компьютерного управления работой аккумулирующих бункеров подземного конвейерного транспорта угольных шахт необходимо иметь математические модели их функционирования в режиме поддержания объема груза в аккумулирующем бункере в заданных пределах.

В этом случае в режиме поддержания в бункере объема груза в заданных пределах надбункерный конвейер работает постоянно. В случае достижения заданного минимального объема груза в бункер V_{s1} питатель отключается и подбункерный конвейер останавливается. Работает только надбункерный конвейер. При достижении заданного максимального объема груза в бункере V_{s2} питатель снова включается и происходит разгрузка бункера до объема V_{s1} . При этом надбункерный конвейер выключается только в случае аварийного переполнения бункера, то есть в случае достижения в бункере объема груза, равного $V_{\max}$ (рис. 1) [1].

Предположим, что поступающий в бункер и разгружаемый из него грузопотоки $Q_s(t)$ и $Q_p(t)$ представляют собой последовательности прямоугольных импульсов высотой, равной средней величине грузопотока, поступающего на надбункерный конвейер m_Q и производительности питателя Q_n соответственно, и интервалов времени работы t_1, t_2 и простоя τ_1, τ_2 надбункерного и подбункерного конвейеров соответственно, распределенных по экспоненциальному закону (рис. 2) [2].

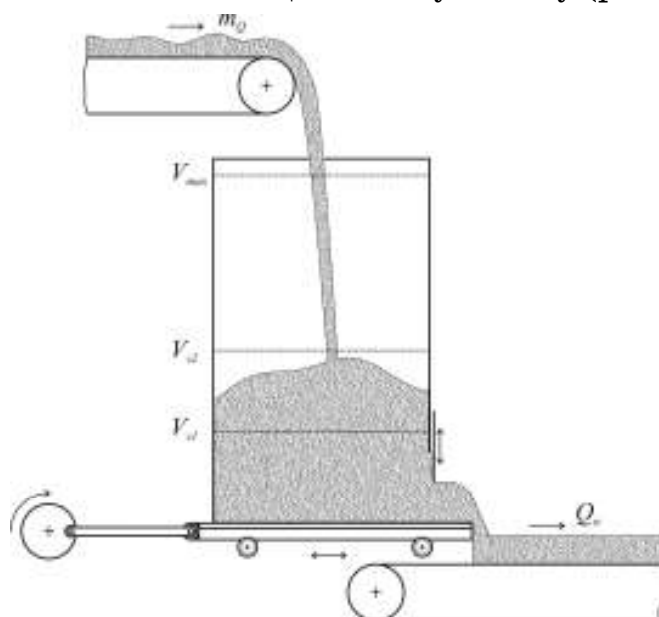


Рисунок 1 – Схема работы аккумулирующего бункера в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах

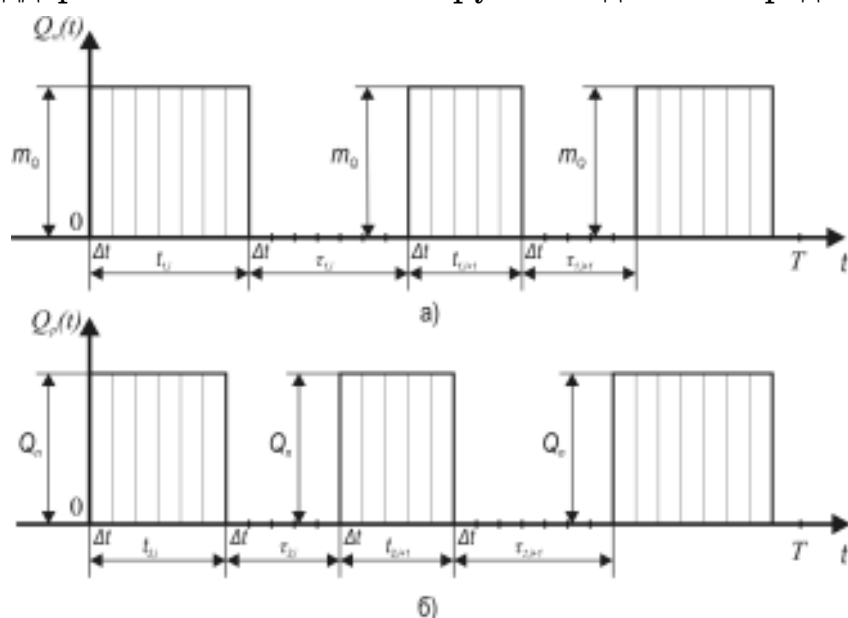


Рисунок 2 – Графики грузопотоков, поступающего в аккумулирующий бункер (а) и выходящего из него (б)

В случае, если аккумулирующий бункер работает в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах, процесс функционирования бункера представляет собой кусочно-марковский процесс, состоящий из загрузки при неработающем питателе ($Q_n = 0$) и разгрузки бункера при работающем питателе ($Q_n > 0$) (рис. 3). При этом, если объем груза в бункере $V(t)$ является эргодическим случайным процессом [3], то средний объем груза в бункере можно определить из выражения

$$V_c = M[V(t)] = M \left[\frac{1}{\xi_c} \int_0^{\xi_3} V_3(t) dt + \frac{1}{\xi_c} \int_0^{\xi_p} V_p(t) dt \right], \quad (1)$$

где $V(t) = V_3(t) + V_p(t)$; $V_3(t)$ – текущий объем груза в бункере в момент загрузки, м^3 ; $V_p(t)$ – текущий объем груза в бункере в момент разгрузки, м^3 ; ξ_c – время цикла загрузки и разгрузки бункера, с; ξ_3 , ξ_p – время загрузки и разгрузки бункера соответственно, с.

При этом ξ_c , ξ_3 , ξ_p являются случайными величинами, удовлетворяющими условию

$$\xi_c = \xi_3 + \xi_p$$

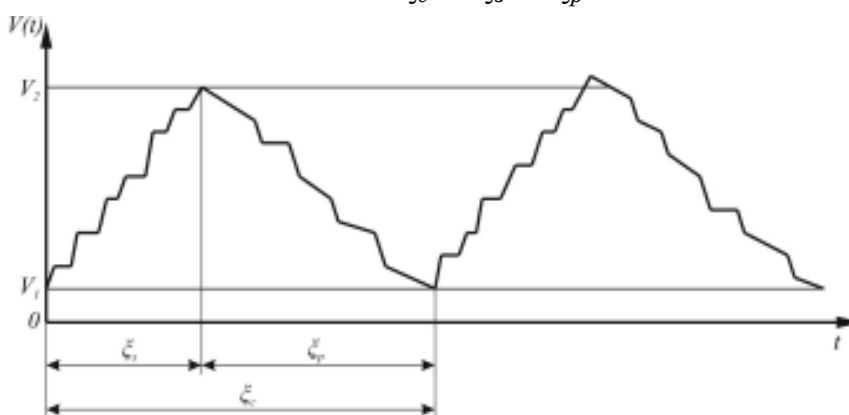


Рисунок 3 – Реализация текущего объема груза в бункере в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах

Из последнего равенства следует [3]

$$M[\xi_c] = M[\xi_3] + M[\xi_p]$$

или

$$t_c = t_3 + t_p, \quad (2)$$

где t_c – среднее время цикла загрузки и разгрузки бункера, с; t_3 , t_p – среднее время загрузки и разгрузки бункера соответственно, с.

Из выражения (1) согласно работе [1] следует, что средний объем аккумулирующего бункера определяется по формуле

$$V_c = \frac{V_{s1}t_s + V_{s2}t_p}{t_c} + \frac{\bar{m}_Q(t_s^2 + \sigma_s^2) - (\bar{Q}_n - \bar{m}_Q)(t_p^2 + \sigma_p^2)}{2\rho t_c}, \quad (3)$$

где σ_s , σ_p – среднеквадратические отклонения времени загрузки ξ_s и времени разгрузки ξ_p аккумулирующего бункера, с.

В формуле (3) неизвестными параметрами являются среднее время загрузки t_s и среднее время разгрузки t_p , а также дисперсии времени загрузки σ_s и разгрузки σ_p аккумулирующего бункера, работающего в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах.

Как отмечалось ранее, в этом случае средний объем груза в бункере не является марковским случайным процессом. Его можно разбить на два марковских процесса загрузки и разгрузки, то есть средний объем груза в бункере описывается кусочно-марковским процессом. При этом времена загрузки ξ_s и разгрузки ξ_p аккумулирующего бункера определяются как случайные величины времени пересечения границы марковского процесса с непрерывным временем и дискретным состоянием.

Такого типа задачи решены в работах для времени пересечения границ марковского непрерывного случайного процесса [4, 5]. Однако решение задачи времени пересечения границ марковского случайного процесса с непрерывным временем и дискретным состоянием не существует.

В данной работе на основании метода Понтрягина определены средние и среднеквадратические значения времени загрузки и разгрузки аккумулирующего бункера, работающего в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах.

Рассмотрим среднее время загрузки аккумулирующего бункера как среднее время достижения максимального заданного объема груза в бункере V_{s2} и среднее время разгрузки бункера как среднее время достижения минимального заданного объема груза в бункере V_{s1} .

Для определения среднего времени загрузки t_s и среднего времени разгрузки бункера t_p , следуя Понтрягину [4, 5], выведем уравнения относительно средних времен достижения заданного количества

ва груза в бункере θ_i при различных начальных состояниях надбункерного и подбункерного конвейеров.

Обозначим через $P_{m1}(t, m)$ – вероятность первого достижения количества груза в бункере, равного m , за время t при условии, что в начальный момент времени надбункерный и подбункерный конвейеры работают; $P_{m2}(t, m)$ – вероятность первого достижения количества груза в бункере, равного m , за время t при условии, что в начальный момент времени надбункерный конвейер не работает, а подбункерный конвейер работает; $P_{m3}(t, m)$ – вероятность первого достижения количества груза в бункере, равного m , за время t при условии, что в начальный момент времени надбункерный конвейер работает, а подбункерный конвейер не работает; $P_{m4}(t, m)$ – вероятность первого достижения количества груза в бункере, равного m , за время t при условии, что в начальный момент времени надбункерный и подбункерный конвейеры не работают.

Тогда вероятность первого достижения количества груза в бункере, равного m , за время $t + \Delta t$, где Δt – малая величина, при условии, что в начальный момент времени надбункерный и подбункерный конвейеры работают, равна сумме вероятностей:

- вероятности первого достижения количества груза в бункере, равного m , за время Δt при условии, что надбункерный и подбункерный конвейер работают;

- вероятности того, что за время Δt надбункерный и подбункерный конвейеры продолжают работать, и в дальнейшем за время t количество груза в бункере достигнет впервые значения, равного $m - \Delta m_1$ (где Δm_1 – количество груза, накопившегося в бункере за время, равное Δt);

- вероятности того, что за время Δt надбункерный конвейер простаивает, а подбункерный конвейер продолжает работать, и в дальнейшем за время t количество груза в бункере впервые достигнет значения $m - \Delta m_2$ (где Δm_2 – количество груза, накопившегося в бункере за время, равное Δt);

- вероятности того, что за время Δt надбункерный конвейер работает, а подбункерный конвейера простаивает, и в дальнейшем за время t количество груза в бункере впервые достигнет значения

$m - \Delta m_3$ (где Δm_3 – количество груза, накопившегося в бункере за время, равное Δt).

В результате имеет место равенство

$$P_{m1}(t + \Delta t, m) = P_{m1}(\Delta t, m) + [1 - (\lambda_1 + \lambda_2)\Delta t] \cdot P_{m1}(t, m - \Delta m_1) + \lambda_1 \Delta t \cdot P_{m2}(t, m - \Delta m_2) + \lambda_2 \Delta t \cdot P_{m3}(t, m - \Delta m_3). \quad (4)$$

Вероятности $P_{mi}(t, m - \Delta m_i)$ разложим по малому параметру Δm_i и оставим в первой степени от Δm_i . В результате получим

$$P_{mi}(t, m - \Delta m_i) = P_{mi}(t, m) - \frac{\partial P_{mi}(t, m)}{\partial m} \cdot \Delta m_i \quad (i = 1, 2, \dots, 4). \quad (5)$$

Подставляя равенства (5) в (4) и отбрасывая малые члены выше первого порядка, после преобразования получим

$$P_{m1}(t + \Delta t, m) = P_{m1}(\Delta t, m) + P_{m1}(t, m) - \frac{\partial P_{m1}(t, m)}{\partial m} \cdot \Delta m_1 - (\lambda_1 + \lambda_2)\Delta t \cdot P_{m1}(t, m) + \lambda_1 \Delta t \cdot P_{m2}(t, m) + \lambda_2 \Delta t \cdot P_{m3}(t, m). \quad (6)$$

Перенеся второй и третий члены правой части равенства (6) в левую часть и деля левую и правые части равенства на Δt , получим:

$$\frac{P_{m1}(t + \Delta t, m) - P_{m1}(t, m)}{\Delta t} + \frac{\partial P_{m1}(t, m)}{\partial t} \cdot \frac{\Delta m_1}{\Delta t} = \frac{P_{m1}(t, m)}{\Delta t} - (\lambda_1 + \lambda_2)P_{m1}(t, m) + \lambda_1 P_{m2}(t, m) + \lambda_2 P_{m3}(t, m).$$

Устремляя в последнем равенстве Δt и Δm_1 к нулю ($\Delta t \rightarrow 0$, $\Delta m_1 \rightarrow 0$) с учетом того, что

$$\frac{P_{m1}(\Delta t, m)}{\Delta t} \rightarrow 0,$$

получим

$$\frac{\partial P_{m1}(t, m)}{\partial t} + \frac{\partial P_{m1}(t, m)}{\partial m} \cdot \frac{dm_1}{dt} = -(\lambda_1 + \lambda_2)P_{m1}(t, m) + \lambda_1 P_{m2}(t, m) + \lambda_2 P_{m3}(t, m), \quad (7)$$

Производная по времени $\frac{dm_1}{dt}$ в равенстве (7) является скоростью

изменения количества груза в бункере при условии одновременной работы надбункерного и подбункерного конвейеров, которая определяется по формуле

$$\frac{dm_1}{dt} = q'_1, \quad (8)$$

где $q'_1 = m_Q - Q_n$.

Определяя вероятность первого достижения количества груза в бункере, равного m , в момент времени $t + \Delta t$ для различных начальных состояний надбункерного и подбункерного конвейеров $P_{m2}(t + \Delta t, m)$, $P_{m3}(t + \Delta t, m)$, $P_{m4}(t + \Delta t, m)$ так же, как и для $P_{m1}(t + \Delta t, m)$, и проводя такие же самые выкладки с учетом равенств

$$\frac{dm_i}{dt} = q'_i,$$

в результате после преобразования получим систему уравнений относительно вероятностей достижения количества груза в бункере, равного m , в момент времени t при различных начальных состояниях надбункерного и подбункерного конвейеров в виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial P_{m1}(t, m)}{\partial t} + q'_1 \frac{\partial P_{m1}(t, m)}{\partial m} = -(\lambda_1 + \lambda_2)P_{m1}(t, m) + \lambda_1 P_{m2}(t, m) + \lambda_2 P_{m3}(t, m), \\ \frac{\partial P_{m2}(t, m)}{\partial t} + q'_2 \frac{\partial P_{m2}(t, m)}{\partial m} = \mu_1 P_{m1}(t, m) - (\lambda_2 + \mu_1)P_{m2}(t, m) + \lambda_2 P_{m4}(t, m), \\ \frac{\partial P_{m3}(t, m)}{\partial t} + q'_3 \frac{\partial P_{m3}(t, m)}{\partial m} = \mu_2 P_{m2}(t, m) - (\lambda_1 + \mu_2)P_{m3}(t, m) + \lambda_1 P_{m4}(t, m), \\ \frac{\partial P_{m4}(t, m)}{\partial t} + q'_4 \frac{\partial P_{m4}(t, m)}{\partial m} = \mu_2 P_{m2}(t, m) + \mu_1 P_{m3}(t, m) - (\mu_1 + \mu_2)P_{m4}(t, m), \end{cases} \quad (9)$$

где $q'_1 = m_Q - Q_n$; $q'_2 = Q_n$; $q'_3 = m_Q$; $q'_4 = 0$.

Определим плотности вероятности первого достижения количества груза в бункере, равного m , за время t при различных состояниях надбункерного и подбункерного конвейеров по формуле

$$w_i(t, m) = \frac{\partial P_{mi}(t, m)}{\partial t} \quad (i = 1, 2, \dots, 4). \quad (10)$$

Продифференцируем каждое уравнение системы (9) по t с учетом (10). Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial w_1}{\partial t} + q'_1 \frac{\partial w_1}{\partial m} = -(\lambda_1 + \lambda_2)w_1 + \lambda_1 w_2 + \lambda_2 w_3, \\ \frac{\partial w_2}{\partial t} + q'_2 \frac{\partial w_2}{\partial m} = \mu_1 w_1 - (\lambda_2 + \mu_1)w_2 + \lambda_2 w_4, \\ \frac{\partial w_3}{\partial t} + q'_3 \frac{\partial w_3}{\partial m} = \mu_2 w_2 - (\lambda_1 + \mu_2)w_3 + \lambda_1 w_4, \\ \frac{\partial w_4}{\partial t} + q'_4 \frac{\partial w_4}{\partial m} = \mu_2 w_2 + \mu_1 w_3 - (\mu_1 + \mu_2)w_4. \end{cases} \quad (11)$$

Средние времена θ_i первого достижения количества груза в бункере, равного m , при различных начальных состояниях надбункерного и подбункерного конвейеров определяются по формулам

$$M[T_i] = \theta_i = \int_0^{\infty} tw_i dt \quad (i = 1, 2, \dots, 4), \quad (12)$$

где T_i – времена первого достижения количества груза в бункере, равного m , при различных начальных состояниях надбункерного и подбункерного конвейеров, мин.

Левую и правую части каждого уравнения системы (11) умножим на t и проинтегрируем по t от 0 до ∞ с учетом (12). В результате получим:

$$\begin{cases} \int_0^{\infty} t \frac{\partial w_1}{\partial t} dt + q'_1 \frac{d\theta_1}{dm} = -(\lambda_1 + \lambda_2)\theta_1 + \lambda_1\theta_2 + \lambda_2\theta_3, \\ \int_0^{\infty} t \frac{\partial w_2}{\partial t} dt + q'_2 \frac{d\theta_2}{dm} = \mu_1\theta_1 - (\lambda_2 + \mu_1)\theta_2 + \lambda_2\theta_4, \\ \int_0^{\infty} t \frac{\partial w_3}{\partial t} dt + q'_3 \frac{d\theta_3}{dm} = \mu_2\theta_2 - (\lambda_1 + \mu_2)\theta_3 + \lambda_1\theta_4, \\ \int_0^{\infty} t \frac{\partial w_4}{\partial t} dt + q'_4 \frac{d\theta_4}{dm} = \mu_2\theta_2 + \mu_1\theta_3 - (\mu_1 + \mu_2)\theta_4. \end{cases} \quad (13)$$

Преобразуем интегралы левых частей системы (13), в результате получим

$$\int_0^{\infty} t \frac{\partial w_i}{\partial t} dt = [tw_i]_0^{\infty} - \int_0^{\infty} w_i dt = -\int_0^{\infty} w_i dt = -[P_{mi}(t, m)]_0^{\infty} = -1$$

$$(i = 1, 2, \dots, 4). \quad (14)$$

Подставляя значения интегралов (14) в левую часть уравнений системы (13), получим систему уравнений относительно средних времен первого достижения количества груза в бункере, равного m , при различных состояниях надбункерного и подбункерного конвейеров в виде

$$\begin{cases} q_1' \frac{d\theta_1}{dm} = 1 - (\lambda_1 + \lambda_2)\theta_1 + \lambda_1\theta_2 + \lambda_2\theta_3, \\ q_2' \frac{d\theta_2}{dm} = 1 + \mu_1\theta_1 - (\lambda_2 + \mu_1)\theta_2 + \lambda_2\theta_4, \\ q_3' \frac{d\theta_3}{dm} = 1 + \mu_2\theta_2 - (\lambda_1 + \mu_2)\theta_3 + \lambda_1\theta_4, \\ q_4' \frac{d\theta_4}{dm} = 1 + \mu_2\theta_2 + \mu_1\theta_3 - (\mu_1 + \mu_2)\theta_4, \end{cases} \quad (15)$$

где $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ – средние времена заполнения заданного количества груза в бункер, соответствующие в начальный момент времени первому, второму, третьему и четвертому состояниям надбункерного и подбункерного конвейеров; m – текущее значение количества груза в бункере.

При этом начальные условия для системы уравнений (15) принимают вид: при $m = 0$ $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4 = 0$.

Если одновременный простой надбункерного и подбункерного конвейеров является маловероятным событием, то система уравнений (15) примет вид:

$$\begin{cases} q_1' \frac{d\theta_1}{dm} = 1 - (\lambda_1 + \lambda_2)\theta_1 + \lambda_1\theta_2 + \lambda_2\theta_3, \\ q_2' \frac{d\theta_2}{dm} = 1 + \mu_1\theta_1 - \mu_1\theta_2, \\ q_3' \frac{d\theta_3}{dm} = 1 + \mu_2\theta_1 - \mu_2\theta_3, \end{cases} \quad (16)$$

где $q_1' = m_Q - Q_n$; $q_2' = -Q_n$; $q_3' = m_Q$.

При этом начальные условия имеют вид: при $m = 0$ $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 0$.

Для определения дисперсий и среднеквадратических отклонений времен первого достижения количества груза в бункере, равного m , при различных состояниях надбункерного и подбункерного конвейеров умножим левую и правую части равенств системы уравнений (11) на t^2 и проинтегрируем их по времени t от 0 до ∞ . В результате получим:

$$\begin{cases} \int_0^{\infty} t^2 \frac{\partial w_1}{\partial t} dt + q'_1 \frac{d\alpha_1}{dm} = -(\lambda_1 + \lambda_2)\alpha_1 + \lambda_1\alpha_2 + \lambda_2\alpha_3, \\ \int_0^{\infty} t^2 \frac{\partial w_2}{\partial t} dt + q'_2 \frac{d\alpha_2}{dm} = \mu_1\alpha_1 - (\lambda_2 + \mu_1)\alpha_2 + \lambda_2\alpha_4, \\ \int_0^{\infty} t^2 \frac{\partial w_3}{\partial t} dt + q'_3 \frac{d\alpha_3}{dm} = \mu_2\alpha_2 - (\lambda_1 + \mu_2)\alpha_3 + \lambda_1\alpha_4, \\ \int_0^{\infty} t^2 \frac{\partial w_4}{\partial t} dt + q'_4 \frac{d\alpha_4}{dm} = \mu_2\alpha_2 + \mu_1\alpha_3 - (\mu_1 + \mu_2)\alpha_4. \end{cases} \quad (17)$$

В уравнениях системы (17) α_i – вторые начальные моменты времени первого достижения количества груза в бункере, равного m , при различных состояниях надбункерного и подбункерного конвейеров, которые согласно [3] определяются по формулам:

$$\alpha_i[T_i] = \int_0^{\infty} t^2 w_i dt \quad (i = 1, 2, \dots, 4). \quad (18)$$

Преобразуем интегралы в левых частях уравнений системы (17), получим

$$\int_0^{\infty} t^2 \frac{\partial w_i}{\partial t} dt = [t^2 w_i]_0^{\infty} - 2 \int_0^{\infty} t w_i dt = -2\theta_i \quad (i = 1, 2, \dots, 4). \quad (19)$$

Подставляя значения интегралов (19) в левые части уравнений системы (17), в результате получим систему уравнений относительно вторых начальных моментов времен первого достижения количества груза в бункере, равного m , при различных состояниях надбункерного и подбункерного конвейеров:

$$\begin{cases} q'_1 \frac{d\alpha_1}{dm} = 2\theta_1 - (\lambda_1 + \lambda_2)\alpha_1 + \lambda_1\alpha_2 + \lambda_2\alpha_3, \\ q'_2 \frac{d\alpha_2}{dm} = 2\theta_2 + \mu_1\alpha_1 - (\lambda_2 + \mu_1)\alpha_2 + \lambda_2\alpha_4, \\ q'_3 \frac{d\alpha_3}{dm} = 2\theta_3 + \mu_2\alpha_2 - (\lambda_1 + \mu_2)\alpha_3 + \lambda_1\alpha_4, \\ q'_4 \frac{d\alpha_4}{dm} = 2\theta_4 + \mu_2\alpha_2 + \mu_1\alpha_3 - (\mu_1 + \mu_2)\alpha_4. \end{cases} \quad (20)$$

При этом для системы уравнений (20) начальные условия имеют вид: при $m=0$ $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 0$.

Окончательно дисперсии и среднеквадратические отклонения времен первого достижения количества груза в бункере, равного m , согласно [3] определяются по формулам:

$$D[T_i] = \alpha_i - \theta_i^2; \quad \sigma_i = \sqrt{\alpha_i - \theta_i^2} \quad (i = 1, 2, \dots, 4). \quad (21)$$

Определим теперь среднее время загрузки бункера t_3 .

Для этого сначала определим среднее время загрузки бункера t_3 при неработающем питателе из уравнения (16) при $\lambda_2 = 0$, которое примет вид:

$$\begin{cases} q'_1 \frac{d\theta_1}{dm} = 1 - \lambda_1 \theta_1 + \lambda_1 \theta_2, \\ q'_2 \frac{d\theta_2}{dm} = 1 + \mu_1 \theta_1 - \mu_1 \theta_2, \end{cases} \quad (22)$$

где $q'_1 = m_Q$; $q'_2 = 0$; θ_1 – среднее время, за которое количество груза в бункере увеличится на m при условии, что в начальный момент времени надбункерный конвейер работает; θ_2 – среднее время, за которое количество груза в бункере увеличится на m при условии, что в начальный момент времени надбункерный конвейер не работает.

При этом начальные условия имеют вид: при $\theta_1 = 0$ $m = 0$.

Решая систему уравнений (22), получим:

$$\theta_1 = \frac{m}{\bar{m}_Q}; \quad \theta_2 = \frac{m}{\bar{m}_Q} + \frac{1}{\mu_1}. \quad (23)$$

Полагая в последнем равенстве $m = \rho(V_{32} - V_{31})$, в результате имеем

$$\theta_1 = \frac{\rho(V_{32} - V_{31})}{\bar{m}_Q}; \quad \theta_2 = \frac{\rho(V_{32} - V_{31})}{\bar{m}_Q} + \frac{1}{\mu_1}. \quad (24)$$

Среднее время загрузки бункера t_3 , т.е. среднее время, в течение которого объем груза в бункере уменьшится от V_{31} до V_{32} при произвольном начальном состоянии надбункерного конвейера, определим по формуле

$$t_3 = P_1 \theta_1 + \bar{P}_1 \theta_2, \quad (25)$$

где $P_1, \bar{P}_1$ – вероятности работы и простоя надбункерного конвейера соответственно.

В случае стационарного процесса, т.е. при $t \rightarrow \infty$ P_1 и $\bar{P}_1$ определяются по формулам [6]:

$$P_1 = \frac{\mu_1}{\lambda_1 + \mu_1}; \quad \bar{P}_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mu_1}. \quad (26)$$

Подставляя (24) и (26) в (25), после преобразования получим среднее время загрузки бункера по формуле:

$$t_s = \frac{\rho(V_{s2} - V_{s1})}{\bar{m}_Q} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)\mu_1}. \quad (27)$$

Теперь определим среднеквадратическое отклонение загрузки бункера σ_s . В нашем случае система уравнений относительно вторых начальных моментов времени загрузки α_1 и α_2 бункера соответственно в режиме при одновременной работе надбункерного и подбункерного конвейеров и в режиме при простое надбункерного конвейера и работе подбункерного конвейера примет вид:

$$\begin{cases} q'_1 \frac{d\alpha_1}{dm} = 2\theta_1 - \lambda_1\alpha_1 + \lambda_1\alpha_2, \\ q'_2 \frac{d\alpha_2}{dm} = 2\theta_2 + \mu_1\alpha_1 - \mu_1\alpha_2, \end{cases} \quad (28)$$

где $q'_1 = m_Q$; $q'_2 = 0$.

При этом начальные условия для системы (28) принимают вид: при $m=0$ $\alpha_1 = 0$.

Решение уравнений (28) при начальных условиях имеет вид:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{m^2}{\bar{m}_Q^2} + \frac{2\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)\mu_1} \cdot \frac{m}{\bar{m}_Q}; \\ \alpha_2 &= \frac{m^2}{\bar{m}_Q^2} + \frac{2}{\mu_1} \left(1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mu_1} \right) \cdot \frac{m}{\bar{m}_Q} + \frac{2}{\mu_1^2}. \end{aligned} \quad (29)$$

Среднеквадратические отклонения времен загрузки при различных состояниях надбункерного и подбункерного конвейеров согласно (21) определяем по формулам:

$$\sigma_1 = \sqrt{\alpha_1 - \theta_1^2}; \quad \sigma_2 = \sqrt{\alpha_2 - \theta_2^2}. \quad (30)$$

Подставляя в (30) θ_1 и θ_2 из (23) и α_1 и α_2 из (29), после преобразования получим

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sqrt{\frac{2\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)\mu_1} \cdot \frac{m}{\bar{m}_Q}}. \quad (31)$$

В результате среднеквадратическое отклонение времени загрузки бункера, независимо от режима работы надбункерного и подбункерного конвейеров, определяется по формуле

$$\sigma_s = P_1\sigma_1 + \bar{P}_1\sigma_2 = \sigma_1. \quad (32)$$

Анализ выражений (27) и (31) показал, что для аккумулирующих бункеров с достаточно большим объемом, то есть, при $m \gg \bar{m}_Q$, выполняется соотношение

$$\sigma_s \ll t_s. \quad (33)$$

Предположим, что объем груза в бункере намного больше одного кубического метра, т.е. $(V_{s2} - V_{s1}) \cdot \rho \gg m_Q$. Тогда, пренебрегая σ_s согласно последнему неравенству (33), равенство (3) примет вид:

$$V_c = \frac{V_{s1}t_s + V_{s2}(t_p + \sigma_p)}{t_c} + \frac{\bar{m}_Q t_s^2 - (\bar{Q}_n - \bar{m}_Q)(t_p^2 + \sigma_p^2)}{2\rho t_c}. \quad (34)$$

Определим среднее время разгрузки бункера t_p и σ_p .

Для определения времени разгрузки бункера t_p , т.е. когда включен питатель, необходимо решить систему уравнений (15) или (16), а для определения среднего квадратичного отклонения σ_p необходимо решить систему уравнений (20), включая равенства (21).

Однако получение аналитического решения систем уравнений (15) или (16) и (20) связано с большими математическими трудностями. Поэтому сначала получим аналитические решения уравнений (15) для частной задачи при непрерывной работе подбункерного конвейера, т.е. при $\lambda_2 = 0$. А затем, используя это решение, получим приближенное решение системы уравнений (15) при $\lambda_2 \neq 0$.

Предположим, что в момент, когда объем груза в бункере достигает V_{s2} , включается питатель, а подбункерный конвейер непрерывно работает, т.е. $\lambda_2 = 0$. Тогда система уравнений (15) примет вид:

$$\begin{cases} q'_1 \frac{d\theta'_1}{dm} = 1 - \lambda_1\theta'_1 + \lambda_1\theta'_2, \\ q'_2 \frac{d\theta'_2}{dm} = 1 + \mu_1\theta'_1 - \mu_1\theta'_2, \end{cases} \quad (35)$$

где $q'_1 = m_Q - Q_n$; $q'_2 = -Q_n$.

Здесь θ'_1, θ'_2 – среднее время, за которое количество груза в бункере впервые достигает значение m при условии, что в начальный

момент надбункерный конвейер работает и не работает соответственно. Решая систему уравнений (35) при начальных условиях $m = 0$, $\theta'_1 = \theta'_2 = 0$ и полагая $m = \rho(V_{s2} - V_{s1})$, в результате получим:

$$\theta'_1 = \frac{\rho(V_{s2} - V_{s1})}{(Q_n - \bar{m}_Q)} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)^2} \cdot \frac{Q_n m_Q}{(Q_n - \bar{m}_Q)^2} \times \left[1 - e^{-\frac{\rho(V_{s2} - V_{s1})(\lambda_1 + \mu_1)(Q_n - \bar{m}_Q)}{(Q_n - m_Q)Q_n}} \right]; \quad (36)$$

$$\theta'_2 = \frac{\rho(V_{s2} - V_{s1})}{(Q_n - \bar{m}_Q)} - \frac{\mu_1}{(\lambda_1 + \mu_1)^2} \cdot \frac{m_Q(Q_n - m_Q)}{(Q_n - \bar{m}_Q)^2} \times \left[1 - e^{-\frac{\rho(V_{s2} - V_{s1})(\lambda_1 + \mu_1)(Q_n - \bar{m}_Q)}{(Q_n - m_Q)Q_n}} \right]. \quad (37)$$

Если разгрузка из бункера осуществляется непрерывно ($\lambda_2 = 0$), т.е. без остановок подбункерного конвейера, то время разгрузки бункера будет меньше, чем в случае остановок подбункерного конвейера ($\lambda_2 \neq 0$). Если объем груза в бункере V_{s2} увеличить на объем среднего количества груза, не пропущенного подбункерным конвейером за время его простоя t_n в течение времени t_p , то время разгрузки бункера объемом V'_{s2} при непрерывно работающем подбункерном конвейере ($\lambda_2 = 0$) приблизительно совпадает со средним временем t_p разгрузки бункера объемом V_{s2} , но с остановками подбункерного конвейера ($\lambda_2 \neq 0$).

Следовательно, если в равенство (36) вместо θ'_1 подставить t_p , а вместо V_{s2} подставить V'_{s2} , определенное из выражения

$$V'_{s2} = V_{s2} + t_n \frac{Q_n}{\rho}, \quad (38)$$

где $t_n = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} t_p$ – среднее время простоя подбункерного конвейера в течение времени t_p ,

то получим уравнение относительно t_p

$$t_p = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \cdot \frac{Q_n}{(Q_n - \bar{m}_Q)} t_p + \frac{\rho(V_{s2} - V_{s1})}{(Q_n - \bar{m}_Q)^2} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)^2} \cdot \frac{Q_n m_Q}{(Q_n - \bar{m}_Q)^2} \times \left[1 - e^{-\frac{\rho(V'_{s2} - V_{s1})(\lambda_1 + \mu_1)(Q_n - \bar{m}_Q)}{(Q_n - m_Q)Q_n}} \right], \quad (39)$$

где $V'_{s2} = V_{s2} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \frac{Q_n}{\rho} t_p$.

Последнее уравнение решается методом последовательных приближений. При этом за нулевое приближение принимается значение θ'_1 из (36), т.е. $t_p = \theta'_1$.

Предположим, что разность $V'_{s2} - V_{s1}$ – большая величина, тогда из равенства (39), пренебрегая экспонентой в квадратных скобках и определяя среднее время загрузки t_p , после преобразования получим:

$$t_p = \frac{\rho(V'_{s2} - V_{s1})}{\bar{Q}_n - \bar{m}_Q} + \frac{\lambda_1}{(\lambda_1 + \mu_1)\mu_1} \cdot \frac{Q_n \bar{m}_Q}{(Q_n - \bar{m}_Q)(\bar{Q}_n - \bar{m}_Q)}. \quad (40)$$

Так как в нашем случае грузопоток, разгружаемый из бункера, постоянный и равен Q_n , то $\sigma_p = 0$. Подставляя в (34) $\sigma_p = 0$, t_s и t_p , определенные соответственно по формулам (27) и (40), а вместо V_{s2} значение V'_{s2} , определенное по формуле (38), получим средний объем груза в бункере V_c в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах:

$$V_c = \frac{V_{s1}t_s + V'_{s2}t_p}{t_s + t_p} + \frac{\bar{m}_Q t_s^2 - (Q_n - \bar{m}_Q)t_p^2}{2\rho(t_s + t_p)}, \quad (41)$$

$$\text{где } V'_{s2} = V_{s2} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \frac{Q_n}{\rho} t_p.$$

Подставляя V'_{s2} в (41) с учетом (2), после преобразования получим [1, 7].

$$V_c = \frac{V_{s1}t_s + V_{s2}t_p}{t_c} + \frac{\bar{m}_Q t_s^2 - (Q_n - \bar{m}_Q)t_p^2}{2\rho t_c} + \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} \cdot \frac{Q_n}{\rho} \cdot \frac{t_p^2}{t_c}. \quad (42)$$

На основании полученного выражения (42) исследованы зависимости среднего объема груза V_c аккумулирующего бункера, работающего в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах, от производительности питателя Q_n и интенсивностей простоев надбункерного конвейера. В результате установлено, что с увеличением производительности питателя средний объем груза в бункере уменьшается и при больших значениях $Q_n \rightarrow \infty$ стремится к полусумме максимального и минимального заданных объемов груза в бункере.

Кроме того, средний объем груза в бункере V_c с увеличением интенсивности простоя надбункерного конвейера λ_1 увеличивается, а с

увеличением интенсивности простоя подбункерного конвейера λ_2 – уменьшается.

Выводы. Следовательно, на основании метода Понтрягина для марковских процессов с непрерывным временем и дискретным состоянием получены системы уравнений относительно средних времен достижения заданных максимальных и минимальных объемов груза в аккумулирующем бункере, работающем в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах.

В результате установлено, что с увеличением производительности питателя средний объем груза в бункере уменьшается и асимптотически стремится к полусумме максимального и минимального заданных объемов груза в бункере.

Кроме того, средний объем груза в бункере с увеличением интенсивности простоя надбункерного конвейера увеличивается, а увеличением интенсивности простоя подбункерного конвейера – уменьшается.

Результаты аналитических исследований отличаются от результатов имитационного моделирования на 10–15 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирия Р. В. Математическая модель функционирования аккумулирующего бункера в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах / Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко, Ю. В. Бабенко // Наукові вісті «Сучасні проблеми металургії». – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2012. – № 15. – С. 85–96.
2. Шахмейстер Л. Г. Вероятностные методы расчета транспортных машин / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1983. – 256 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.
4. Тихонов В. И. Марковские процессы / В. И. Тихонов, М. А. Миронов. – М.: Сов. радио, 1977. – 488 с.
5. Понтрягин Л. О статистическом рассмотрении динамических систем / Л. Понтрягин, А. Андронов, А. Витт // Журнал экспериментальной и теоретической физики, 1933. – Т. 3. – Вып. 3. – С. 165– 180.
6. Гнеденко, Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
7. Кирия Р. В. Определение среднего объема груза в аккумулирующем бункере, работающем в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах / Р. В. Кирия, Т. Ф. Мищенко // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2015. – №49. – С. 106–115.

Т.В. Селівьорстова

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ СТРАТЕГІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ

Анотація. Розглянуті постановки задачі поведінки рухомих об'єктів в рамках класу задач, який носить умовну назву «задача про дифузійну бомбу». Виконано програмну реалізацію та дослідження моделі поведінки рухомих об'єктів, яка полягає в «кооперативному» децентралізованому прийнятті рухомими об'єктами рішень по вибору траєкторій руху, в рамках заданої цілі.

Ключові слова: Стратегічна поведінка, задача про дифузійну бомбу, кооперативна модель, рефлексивно-кооперативна модель.

Постановка проблеми. У багатьох прикладних областях виникають завдання управління групою рухомих об'єктів (РО), що спільно виконують деяке завдання, наприклад, пошук рухомих або нерухомих об'єктів в заданій області простору, або в проникненні в задану область, або в ураженні цілей та ін. [1]. Як правило, група РО функціонує в конфліктному середовищі, тобто в умовах протидії (виявлення, інформаційної протидії, знищення) – з боку об'єктів пошуку, системи охорони або оборони (елементи якої умовно називають «сенсорами»), що забезпечує захист кордонів області, цілей та ін.

Аналіз публікацій по темі дослідження. В ході дослідження данної проблематики [2 – 6] склалась система класифікацій задач групового керування в умовах протидії, яка передбачає варіативність кількості та якості цілей, ступеня ураження, часового проміжку, кількості РО, швидкості РО, мережі сенсорів та їхньої кількості, взаємодії РО та сенсорів, що утворило розгалужену класифікацію задач, зокрема:

– планування траєкторій руху (Route Planning, Cooperative Path Planning) множини РО в відсутності протидії (в неконфліктній середовищі) [3];

– дискретне планування траєкторій руху з урахуванням протидії (Optimal Risk Path Planning) [4];

– розподілу ЦО (Coordinated Target Assignment) [5, 6].

Формулювання цілей статті. Враховуючи, що однією з важливих постановок є задача «пошуку» (ураження) на площині нерухомого ЦО без часових обмежень при наявності кількох нерухомих сенсорів (РО рухаються з постійною по абсолютній величині заданій швидкістю (напрямок руху може змінюватися); планування ними траєкторій здійснюється децентралізовано (автономно) в реальному часі). У якості критерію ефективності дій групи РО вважатимемо число K РО, які досягли ЦО. Даний клас задач носить умовну назву «задача про дифузійну бомбу». Цілю дослідження є реалізація та дослідження моделі поведінки РО, яка полягає в «кооперативному» децентралізованому прийнятті рухомими об'єктами рішень по вибору траєкторій руху в умовах, коли ймовірність виявлення (знищення) кожного з них залежить від відносного розташування всіх членів їх групи.

Планування траєкторії в умовах протидії

Задані початкові положення $(x_j(0), y_j(0))$, $j = \overline{1, K_0}$, на площині K_0 рухомих об'єктів. Їх мета – з'явитися в точці з координатами (x^*, y^*) . Положення j -го РО в момент часу $t \geq 0$ позначимо через $(x_j(t), y_j(t))$, його швидкість – через $v_j(t) = \sqrt{(\dot{x}_j)^2 + (\dot{y}_j)^2}$, час першого потрапляння в точку (x^*, y^*) – через T_j . Є N нерухомих сенсорів з координатами (a_i, b_i) , $i = \overline{1, N}$, мають можливість підсумувати приходять на них в один і той же момент часу сигнали. Відстань від j -го РО до i -го сенсора позначимо через $\rho_{ij}(t) = \sqrt{(x_j(t) - a_i)^2 + (y_j(t) - b_i)^2}$.

У загальному випадку ризик виявлення j -го РО системою сенсорів описується наступним функціоналом:

$$R_j = \int_0^{T_j} \sum_{i=1}^N \frac{(v_j(t))^m}{(\rho_{ij}(t))^k} dt, \quad (1)$$

де «сигнал» на сенсорі (доданок у виразі (1)) залежить від швидкості РО і відстані від останнього до сенсора. З вигляду функціоналу (1) випливає, що ризик виявлення РО залежить від значень «сигналів»

на різних сенсорах. Показник ступеня k характеризує фізичне поле, в якому здійснюється виявлення [7], а показник ступеня m – залежність рівня інтенсивності випромінюваного сигналу від швидкості руху об'єкта (наприклад, сигналів первинного гідроакустичного поля [8]). Значення k відповідають:

- $k = 1$ – первинному гідроакустичному полю в мілкому морі;
- $k = 2$ – тепловому полю, первинного електромагнітного поля і первинного гідроакустичного поля в глибокому морі;
- $k = 3$ – магнітному полю;
- $k = 4$ – вторинному (при активному режимі виявлення) електромагнітному і гідроакустичному полям.

«Некооперативна» модель

Нехай всі РО рухаються з постійною по абсолютній величині швидкістю v_0 . Знаючи розташування сенсорів і їх умовні невід'ємні чутливості $\{c_i\}$, $i = \overline{1, N}$, можливо за аналогією з виразом (1) для кожної точки (x, y) площини визначити ризик (ймовірність виявлення)

$$r(x, y) = \min \left\{ \sum_{i=1}^N \frac{c_i}{\left(\sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2} \right)^k}; 1 \right\} \quad (2)$$

виявлення окремого РО, що знаходиться в цій точці.

Нехай час дискретний. Крок часу позначимо через τ , через p позначимо ймовірність знищення виявленого РО (для простоти будемо вважати, що ця ймовірність не залежить від координат точки виявлення, часу і швидкості РО – облік в майбутніх дослідженнях цих залежностей є перспективним), через

$e(x, y) = (x^* - x, y^* - y) / \sqrt{(x - x^*)^2 + (y - y^*)^2}$ – одиничний вектор напрямку на ЦО в точці (x, y) , через $\rho((x, y); (q, w))$ – евклідова відстань між точками (x, y) і (q, w) , через $s_\Delta(x, y)$ – коло радіуса $\Delta \geq 0$ з центром в точці (x, y) .

Розглянемо кілька стратегій поведінки РО.

Варіант I. Перший (найпростіший) варіант, коли кожен РО рухається по прямій, що з'єднує його початкове положення з ЦО. Відповідний РО умовно назовемо неінтелектуальним.

В рамках варіанту I кожен РО в кожен момент часу повинен знати тільки своє поточне становище і становище ЦО.

Більш «інтелектуальні» РО повинні враховувати поточні та (або) майбутні ймовірності їх виявлення. Для опису їх поведінки визначимо безліч таких точок, що:

1) в них РО може виявитися, почавши рухатися з точки (x, y) зі швидкістю v_0 , через час τ ;

2) ймовірність виявлення РО не перевищує граничної величини δ ;

3) плюс сама точка (x, y) :

$$S_{v_0\tau}^\delta = \{(q, w) \mid \rho((x, y); (q, w)) = v_0\tau; r(q, w) \leq \delta\} \cup \{(x, y)\}. \quad (3)$$

Лінію рівня сумарного сигналу $r(q, w) = \delta$ будемо називати пороговою лінією. Позначимо $\text{Proj}_{S_{v_0\tau}^\delta(x, y)}(x^*, y^*)$ – проекцію положення ЦО на $S_{v_0\tau}^\delta(x, y)$ (т.ч. найближча в сенсі евклідова відстань до ЦО точка цієї множини; якщо така проекція не єдина, виберемо рівномірно будь-яку з них).

Варіант II. Введемо наступні правила планування РО своїх траєкторій (алгоритм некооперативного поведінки).

Крок 1. У кожен період часу РО, що знаходиться в точці (x, y) , з ймовірністю $p r(x, y)$ знищується системою оборони, а з ймовірністю $1 - p r(x, y)$ продовжує рух.

Крок 2. Продовживши рух, РО до початку наступного періоду часу виявиться в точці (u, v) , де

$$(u, v) \in \begin{cases} \text{Proj}_{S_{v_0\tau}^\delta(x, y)}(x^*, y^*), & \text{якщо } (x, y) \notin \text{Proj}_{S_{v_0\tau}^\delta(x, y)}(x^*, y^*), \\ \text{інакше } (x, y) + \min\{v_0\tau; \rho((x, y); (x^*, y^*))\} e(x, y). \end{cases} \quad (4)$$

Перший випадок у виразі (1.4) відповідає невіддаленню від ЦО за умови, що ризик виявлення не перевищить пороговий. Другий випадок – «прорив» по прямій до ЦО (в разі, якщо не вдається забезпечити виконання умови неперевикнення ймовірністю виявлення порогового значення, у випадку коли проходження цієї умови призводить до віддалення від ЦО).

В рамках алгоритму некооперативного поведінки, РО, що знаходиться в деякій точці, повинен мати оцінки ризику виявлення тільки для $u_0\tau$ -околиці цієї точки; таким чином поведінка РО локально-оптимальна, і вимагає тільки локальної інформації. Відзначимо, що при активному режимі виявлення ($k = 4$) ця локальна інформація може обчислюватися за допомогою екстраполяції поточних вимірювань сигналів сенсорів. При пасивному режимі досить зажадати знання усіма РО координат і чутливості сенсорів (що дає їм можливість розрахувати ризик (2) для довільної точки площини).

Некооперативна поведінка групи РО буде описуватися наступним чином: для кожного моменту часу для кожного РО виконувати послідовно крок 1 і крок 2 до тих пір, поки або не будуть знищені всі РО, або всі вцілілі РО не досягнуть ЦО.

«Кооперативна» модель

Взаємодію РО будемо враховувати в такий спосіб: припустимо, що ймовірність виявлення даного РО залежить не тільки від поточних відстаней від нього до сенсорів, а й від того, наскільки близько до нього розташовані інші РО (приклад – зростання ефективної поверхні розсіювання). Іншими словами, умовно можна вважати, що РО служать «сенсорами» один для одного, і в міру їх взаємного зближення зростає ймовірність виявлення.

Позначимо через

$$R_j(x_j, y_j) = \min \left\{ r(x_j, y_j) + \sum_{l \neq j} \frac{\alpha}{1 + \left(\sqrt{(x_j - x_l)^2 + (y_j - y_l)^2} \right)^k}; 1 \right\} \quad (5)$$

ризик виявлення j -го РО, що знаходиться в точці (x_j, y_j) , з урахуванням його взаємодії з іншими РО, де α – невід’ємна константа.

Варіант III. Рухливі об’єкти прориваються до ЦО по прямій, не враховуючи і не прогнозуючи ймовірності їх виявлення. Даний варіант відповідає варіанту I з точністю до заміни ризику (2) на ризик (5). Інформованість РО при цьому така ж, що і у варіанті I.

Варіант IV. Алгоритм «кооперативного» поведінки буде описуватися кроками 1' і 2', які з точністю до заміни ризику (2) на ризик (5) збігаються відповідно з кроками 1 та 2, причому у виразі (5)

підсумовування ведеться по тим РО, які до поточного моменту не були знищені.

Варіант IV відповідає варіанту II з точністю до заміни ризику (2) на ризик (5).

В даному випадку для планування своєї траєкторії кожен РО, крім інформації, необхідної в другому варіанті, повинен знати поточні координати всіх РО. (Можливо узагальнення «кооперативної» моделі на випадок, коли кожен РО має свій фіксований «радіус огляду» і при плануванні своєї траєкторії має інформацію і враховує (у натуральному вираженні типу (5)) тільки ті інші РО, які знаходяться від нього на відстані, що не перевищує цей радіус.)

Рефлексивна модель

Будемо вважати, що в групі присутні РО двох типів. Об'єкти першого типу – назовемо їх нерефлексуючими – діють відповідно до алгоритму «кооперативного» поведінки (варіант IV). Об'єкти другого типу – назовемо їх рефлексуючі [14] – діють більш складним чином: кожен з них, вважаючи всіх інших нерефлексуючими [15], прогнозує їх поведінку. Іншими словами, той РО, що рефлексує, точно розраховує, де опиняться в наступний момент часу інші РО (діють відповідно до варіанту IV) і вибирає напрямок свого руху з урахуванням прогнозованих положень інших РО.

Визначимо кроки 1'' і 2'' як кроки, які з точністю до заміни ризику (5) на прогнозований ризик збігаються відповідно з кроками 1' і 2'.

Варіант V. Алгоритм рефлексивної поведінки групи РО: для кожного моменту часу для кожного нерефлексуючого РО виконувати послідовно кроки 1' і 2', а для кожного рефлексуючого РО виконувати послідовно кроки 1'' і 2'', поки всі вцілілі РО не досягнуть ЦО.

Відзначимо, що в рамках алгоритму рефлексивної поведінки (варіант V) інформованість кожного РО повинна бути такою ж, що і в разі кооперативного поведінки (варіант IV).

Реалізація імітаційних моделей стратегічної поведінки

Програмна реалізація та візуалізація результатів роботи імітаційних моделей стратегічної поведінки проводилась у середовищі MatLab з використанням встроєної мови програмування.

Вхідними параметрами некооперативної моделі руху РО є:

- кількість агентів, для кожного агента задаються його координати та стан (0 – агент живий, 1 – агент знищений, 2 – агент досяг ЦО);
- кількість сенсорів, для кожного сенсору задається його координати та стан (0 – безпечний, 1 – небезпечний);
- розмір обчислювального поля;
- межа виявлення (границя детектування) РО.

Критерієм проведення обчислень є існування агентів з міткою 0 – рухливі незнищенні або ті, що не потратили до цільової точки.

В результаті проведення обчислювального експерименту, що реалізує некооперативну модель руху РО при граничному значення $\delta = 0,3$ для трьох сенсорів (1, 2, 5) з небезпечним сигналом, було встановлено, що жоден з агентів не дістався точки цілі. На рисунку 1 наведена динаміка руху РО в процесі досягнення цілі для 100 агентів (червоний колір), які розташовані у 5 рядів по 20 з відстанню 2 кроки дискретизації, 7 сенсорів, що розташовані по кутах латинської букви W. Сенсори, що безпечні пофарбовані зеленим кольором, а небезпечні – жовтим кольором. Об'єкт цілі – синя точка.

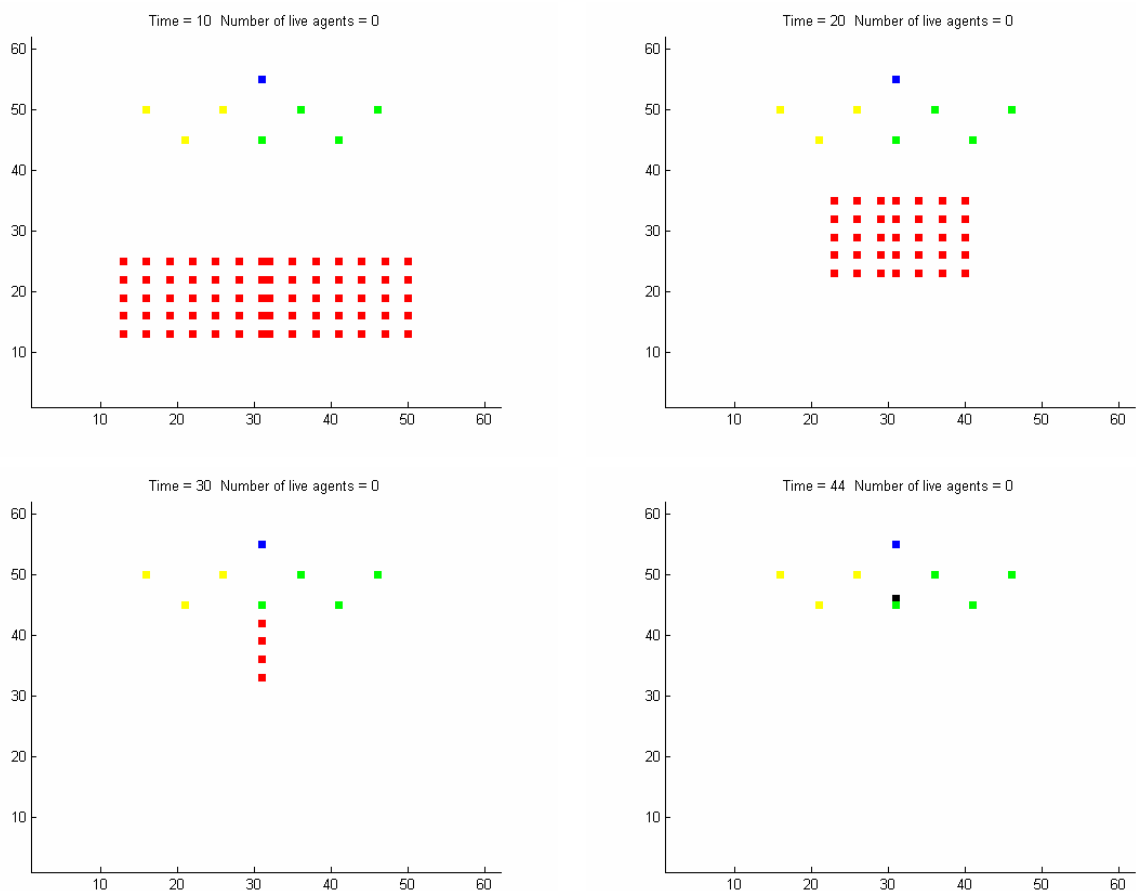


Рисунок 1 – Візуалізація результату некооперативної моделі

Кооперативна модель відрізняється від некооперативної тим, що скупчення агентів збільшує ризик бути знищеним, тобто сенсорами небезпеки для рухомих об'єктів є у тому числі інші рухомі об'єкти. Вводиться додатковий коефіцієнт α , який визначає чутливість агентів до присутності інших РО. Динаміка руху РО згідно кооперативної моделі при $\delta = 0,7$, коефіцієнті кооперації $\alpha = 0,01$ для чотирьох сенсорів (1, 2, 3) з небезпечним сигналом, зображена на рисунку 2, відображає досягнення цілі 76 агентами.

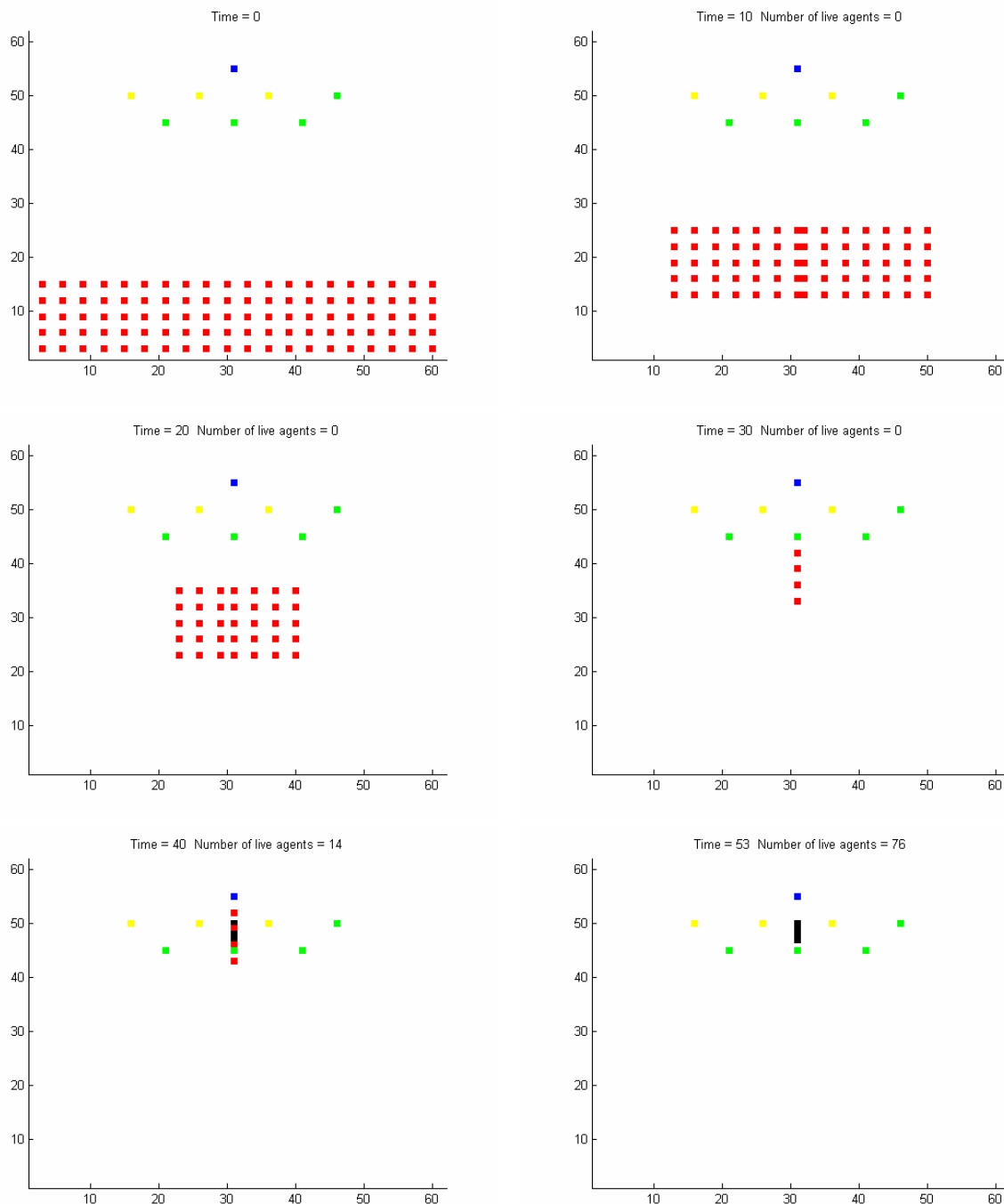


Рисунок 2 – Візуалізація результату кооперативної моделі

Рефлексивно-кооперативна модель, описує рух об'єктів при врахуванні ризику знищення, який обчислюється з врахуванням міркувань про те, що сенсорами до рухомих об'єктів є у тому числі інші рухомі об'єкти.

Модель працює наступним чином: проводиться прогноз прямого руху, обчислюється ризик у точці прогнозованого руху, якщо ризик знищення менше граничного значення – агент рухається, у протилежному випадку агент або зостається на місці, або переходить у будь-яку точку околу, незважаючи на ризик знищення. Відмінності від інших реалізацій полягають у випадковому переході у точки околу, який реалізується за допомогою генератора псевдовипадкових чисел.

На рисунку 3 відображено результат обчислень за рефлексивно-кооперативною моделлю при граничному значенні $\delta = 0,5$, коефіцієнті кооперації $\alpha = 0,01$ для трьох сенсорів (1, 2, 3) з небезпечним сигналом. Цілі досягли 54 агента.

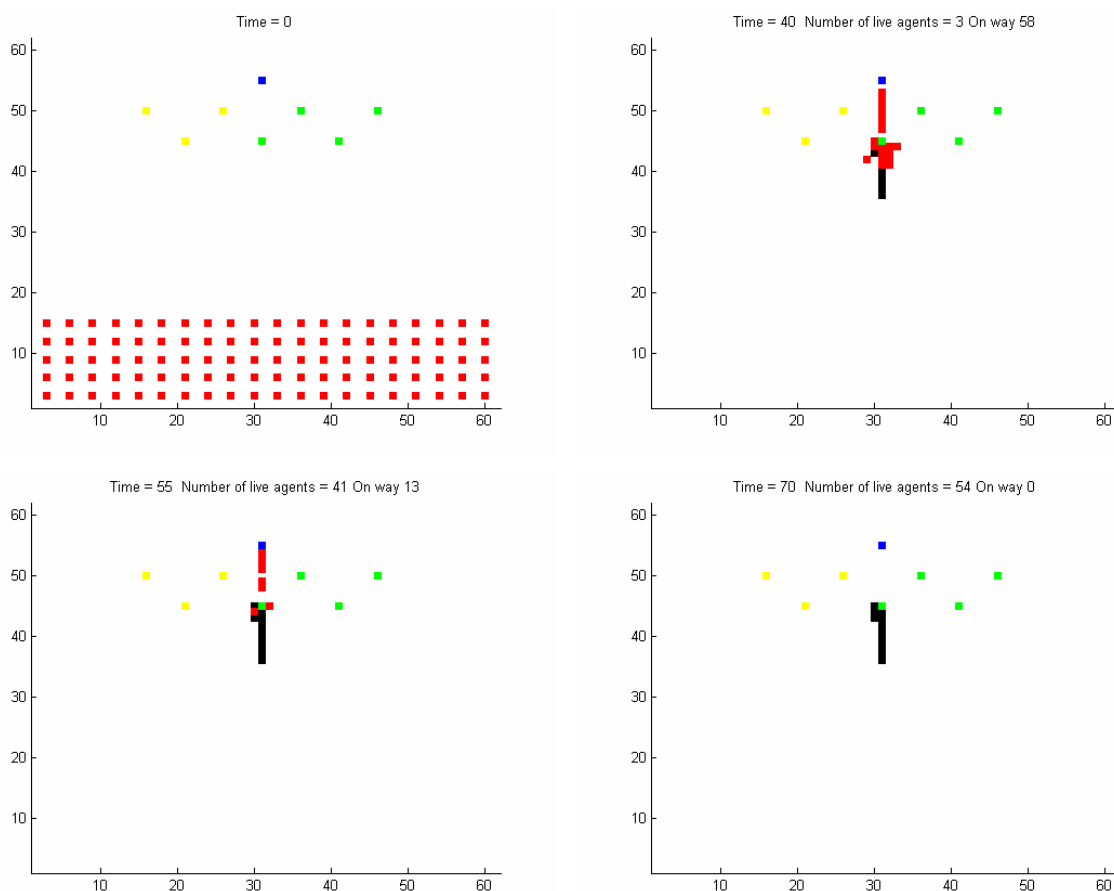


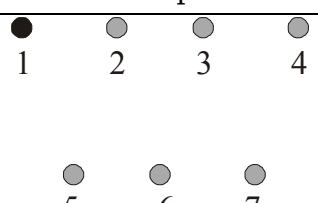
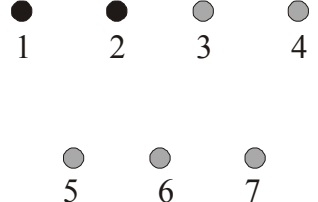
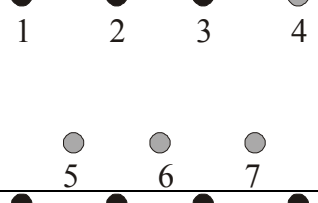
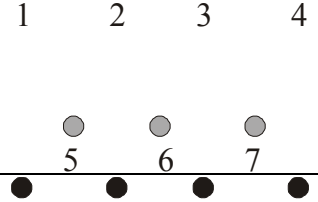
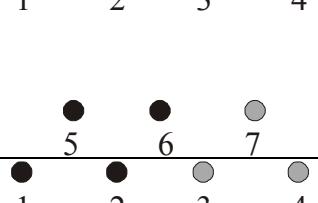
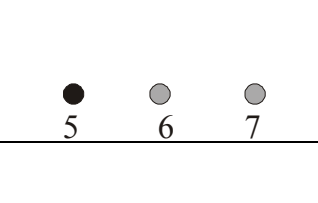
Рисунок 3 – Візуалізація результату рефлексивно-кооперативної моделі

**Дослідження роботи моделей стратегічної поведінки у
мультіагентних системах**

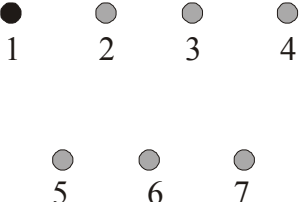
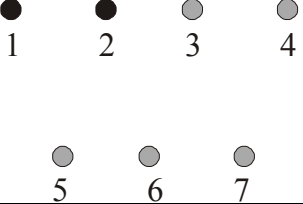
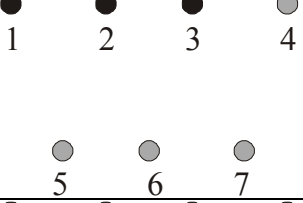
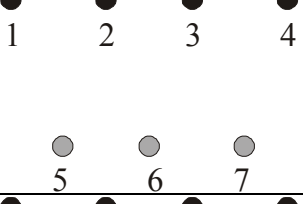
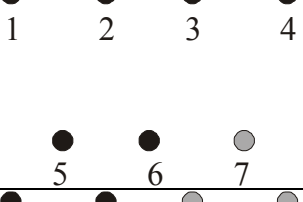
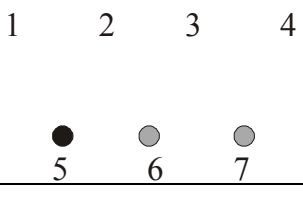
Завдяки реалізованим моделям було проведено низку обчислювальних експериментів, результати яких представлені в таблицях 1 – 3.

Таблиця 1

Результати моделювання отримані нерефлексивною моделлю

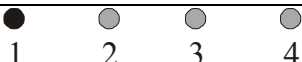
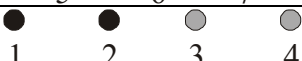
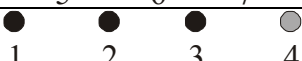
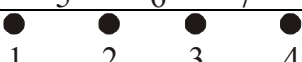
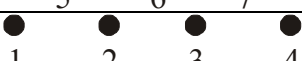
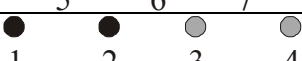
Розташування сенсорів	Кількість агентів, що досягли цільової точки		
	$\delta = 0,3$	$\delta = 0,5$	$\delta = 0,7$
	100	100	100
	100	100	100
	0	100	100
	0	0	100
	0	0	0
	0	100	100

Результати моделювання отримані кооперативною моделлю

Розташування сенсорів	Кількість агентів, що досягли цільової точки					
	$\alpha = 0,01$			$\alpha = 0,03$		
	$\delta = 0,3$	$\delta = 0,5$	$\delta = 0,7$	$\delta = 0,3$	$\delta = 0,5$	$\delta = 0,7$
 1 2 3 4 5 6 7	75	100	100	26	46	67
 1 2 3 4 5 6 7	7	76	100	3	26	48
 1 2 3 4 5 6 7	0	5	76	0	2	24
 1 2 3 4 5 6 7	0	0	49	0	0	17
 1 2 3 4 5 6 7	0	0	0	0	0	0
 1 2 3 4 5 6 7	0	44	100	0	16	37

В таблиці 3 наведені усереднені данні по результатах 3-х обчислювальних експериментів, у зв'язку з тим, що в алгоритмі присутній випадковий чинник.

Результати моделювання отримані
рефлексивно-кооперативної моделлю

Розташування сен- сорів	Кількість агентів, що досягли цільової точки								
	$\alpha = 0,00$			$\alpha = 0,01$			$\alpha = 0,03$		
	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,7
 1 2 3 4 5 6 7	100	100	100	67	99	100	30	50	69
 1 2 3 4 5 6 7	100	100	100	12	85	100	6	34	53
 1 2 3 4 5 6 7	0	100	100	0	10	94	0	4	41
 1 2 3 4 5 6 7	0	0	100	0	0	73	0	0	28
 1 2 3 4 5 6 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
 1 2 3 4 5 6 7	0	100	100	0	64	96	0	22	42

На базі проведених обчислювальних експериментів були зроблені наступні висновки:

1) для некооперативної моделі – при зниженні порогу детектування кількість агентів, що досягли цільової точки зменшується,

причому для даної моделі властиво те, що або всі агенти досягають цільової точки, або всі знищуються системою безпеки;

2) для кооперативної моделі безпеки – при зменшенні коефіцієнту кооперативного детектування більше агентів досягає цільової точки, також при зниженні порогу детектування кількість агентів, що досягли цільової точки зменшується (рисунк 4);

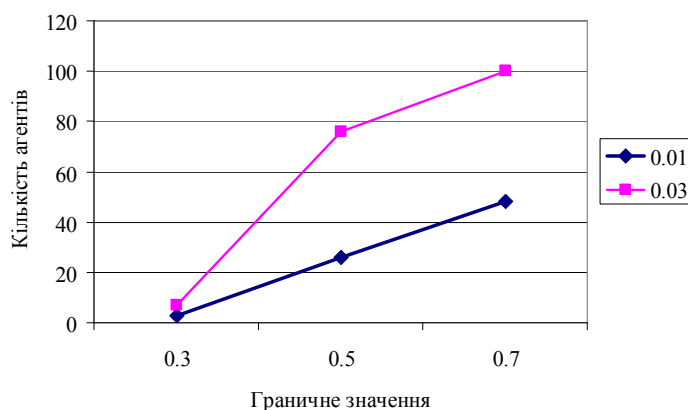


Рисунок 4 – Залежність кількості агентів, що досягли цілі від граничного значення при варіації параметру кооперації, для активних сенсорів 1, 2

3) для рефлексивно-кооперативної моделі – завдяки рефлексивній компоненті кількість агентів, що досягли цільової точки збільшується, при зменшенні коефіцієнту кооперативного детектування більше агентів досягає цільової точки, також при зниженні порогу детектування кількість агентів, що досягли цільової точки зменшується (рисунк 5, 6).

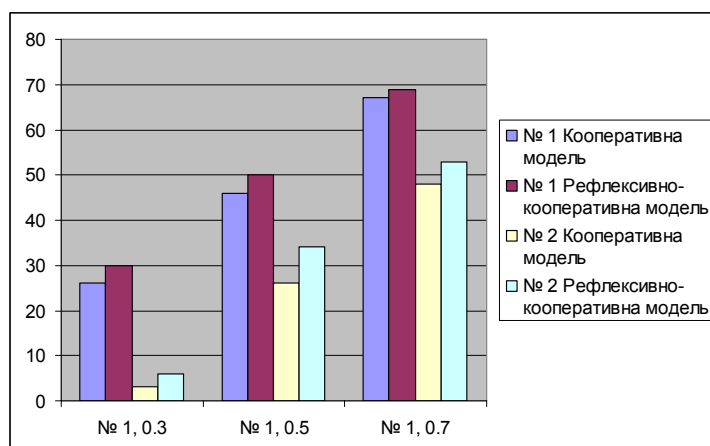


Рисунок 5 – Залежність кількості агентів, що досягли цілі від граничного значення при варіації моделей, для обчислювального експерименту №1 та № 2

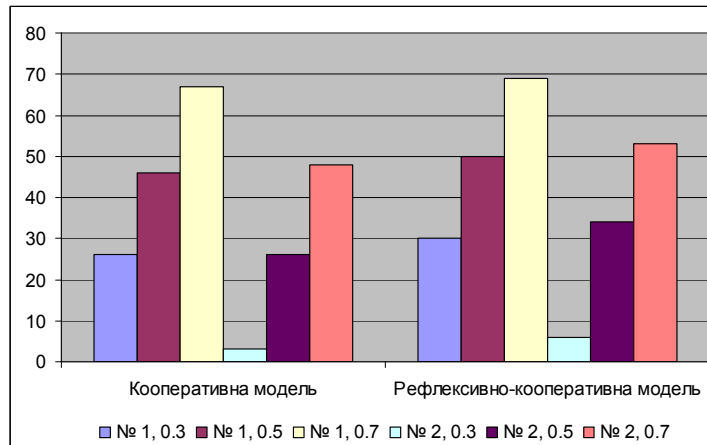


Рисунок 6 – Залежність кількості агентів, що досягли цілі при варіації моделей для обчислювальних експериментів №1 та № 2

ЛІТЕРАТУРА

1. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: Физматлит, 2009.
2. Liu B., Dousse O., Wang J., Saipulla A. Strong Barrier Coverage of Wireless Sensor Networks / ACM MobiHoc08, 2008.
3. Zheng C., Li L., Xu F, Sun F. Evolutionary Route Planner for Unmanned Air Vehicles // IEEE Transactions on Robotics. – 2005. – Vol. 21, № 4. – P. 609 – 620.
4. Anisi D., Thunberg J. Swedish Defense Research Agency, 2007. Report FOI-R-2266-SE. – 68 p.
5. Добровидов А.В., Кулида Е.Л., Рудько И.М. Выбор траектории движения объекта в конфликтной среде // Проблемы управления. – 2011. – № 2. – С. 64 – 75.
6. Beard R., McLain T., Goodrich M. Coordinated Target Assignment and Intercept for Unmanned Air Vehicles // Proceedings of IEEE2002 International Conference on Robotics and Automation. Washington DC, 2002. – P. 2581 – 2586.
7. Абрамянц Т.Г., Маслов Е.П., Яхно В.П. Уклонение подвижного объекта от обнаружения группой наблюдателей // Проблемы управления. – 2010. – № 5. – С. 73 – 79.
8. Абрамянц Т.Г., Маслов Е.П., Рудько И.М., Яхно В.П. Уклонение подвижного объекта от обнаружения группой наблюдателей при малых отношениях сигнал/помеха // Обработка информации и управление. – 2011. – № 2.
9. Zabaranin M., Uryasev S., Pardalos P. Optimal Risk Path Algorithms // Cooperative Control and Optimizatoin. Ch. 1 / Eds. Murphey R., Pardalos P. – Dordrecht: Kluwer Acad., 2002. – P. 271 – 303.

И.Л. Шинковская, И.П. Заец, Е.Д. Лазарева

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СТРАТЕГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Анотація. На основі узагальнення наукових поглядів закордонних і вітчизняних учених сформульовані загальні підходи до процесу прийняття управлінських рішень. Розроблено концептуальну модель процесу прийняття управлінських рішень.

Ключові слова: інформація, концептуальна модель, комунікаційний процес, управлінське рішення.

Актуальность темы

Становление рыночных отношений в Украине предъявляет новые требования к управлению, характеру возникающих при этом задач, а также к методам их решения. Нестабильность, сложность и непредсказуемость политической и экономической среды требуют четкого определения целей развития организаций. В условиях жёсткой конкурентной борьбы и быстро меняющейся ситуации организации любых уровней должны вырабатывать стратегию, которая позволяла бы успевать за изменениями, происходящими в их окружении, в какой-то степени предвосхищать их и опережать. Ускорение изменений в окружающей среде, возрастание конкуренции, интернационализация бизнеса, широкая доступность современных технологий, изменение роли человеческих ресурсов, а также ряд других причин, привели к резкому возрастанию значения стратегического планирования и управления.

Анализ последних исследований и публикаций

Проблема принятия управленческого решения рассматривается в научных трудах как отечественных, так и зарубежных ученых: М. Вебера, Д. Дерлоу, Л. Завалкевича, Г. Минцберга, М. Мескона, В. Планкетта, Г. Поршневой, Г. Саймона [1–7]. Анализ научных публикаций показал, что до настоящего времени не выработан единый подход к процессу принятия управленческих решений в организаци-

ях любого уровня, не учтен наиболее важный элемент – наличие обратной связи, что является необходимым звеном для принятия решений. Для разработки управленческого решения должны быть найдены специальные правила и процедуры. Информация должна проходить наверх без задержки и искажений, но правильно отобранная. В результате, исходя из строго определенных целей и с учетом ограничений, могут быть приняты оптимальные решения, даже при неполной информации. Следовательно, необходимо знание зависимости значения цели от выбранного варианта [3]. Все рассмотренные модели процесса принятия управленческого решения содержат только базовые элементы, которые не отображают специфику организаций и не рассматривают принятие управленческих решений в коммуникационном процессе.

Цель работы

Цель работы предусматривает разработку концептуальной модели принятия решений в управлении организацией на основе ранее выбранной стратегической линии функционирования.

На основе поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) проведен анализ существующих подходов к процессу принятия управленческих решений;
- 2) построена концептуальная модель принятия управленческих решений в коммуникационном процессе организации.

Изложение основного материала исследования

Реализация функций управления (планирование, организация, мотивация, контроль) на практике выполняется путем разработки управленческого решения, что составляет основное содержание деятельности менеджера любого уровня во время формирования целей и путей их достижения.

Процесс принятия решений является одним из основных составляющих любого управленческого процесса, в нем достаточно много тонкостей и особенностей, определяемых характером и спецификой деятельности организации, ее организационной структурой, действующей системой коммуникаций, внутренней культурой.

Тем не менее, имеются общие тенденции, характерные для любого процесса принятия решений, основанные на поступающей стратегической информации, ее тщательном анализе и оценках [7].

Для принятия современных эффективных управленческих решений необходимо располагать информацией о характере происходящих процессов и параметрах соответствующих объектов управления. Управленческие решения должны основываться на достоверной текущей и прогнозируемой информации, анализе всех факторов, оказывающих влияние на решение с учетом предвидения их возможных последствий.

Концептуальная модель принятия решений состоит из следующих взаимосвязанных блоков:

- сбор и фильтрация информации;
- диагностика проблемы;
- выбор методов;
- оценка альтернатив;
- принятие решений;
- реализация управленческого решения;
- контроль выполнения решения.

Для корректировки блоков в концептуальной модели предусмотрены адаптеры, обеспечивающие обратную связь между блоками. Обеспечение обратной связи в модели для корректировки управленческого решения осуществляется с помощью процесса внутренней и внешней коммуникации, эффективных информационных потоков, координации, что позволяет своевременно реагировать на изменения внешней и внутренней среды.

В рамках рассматриваемой модели оцениваются как экономические, так и технологические возможности организации, продукты, рынки, состояние конкурентоспособности потребителей, стратегические направления деятельности, определяются целевые показатели эффективной деятельности при рациональном использовании ресурсов. Контроль дает возможность сравнивать фактические результаты со стратегическими, и, в случае несоответствия, выполнять корректирующие мероприятия.

Во время разработки управленческих решений в рамках концептуальной модели используются апробированные практикой методы, основанные на математическом моделировании и психологических приемах работы [2].

После определения комплексных критериев эффективности для выбора единственного решения задачи управления необходимо искать

альтернативу, наиболее близкую к стратегическому состоянию по всем критериям. Выбор единственного варианта принятия решений из множества эффективных вариантов может быть основан на сравнении с системой показателей – аналогом сбалансированной системы показателей [3].

Используется следующая методика определения полезности, изложенная в [1]. Предположим, что имеется n результатов $x_1, x_2, \dots, x_n$. Упорядочиваем все результаты по убыванию предпочтительности. Пусть x_1 – наилучший, x_n – наихудший результат. Составляем таблицу возможных комбинаций результатов, а затем устанавливаем их предпочтение относительно отдельных результатов $x_1, x_2, \dots, x_n$ (табл.1). Информация о предпочтительности результатов поступает от экспертов.

Таблица 1

Определение полезности результатов

1	x_1 или $x_2 + x_3 + \dots + x_n$	n	x_2 или $x_3 + x_4 + \dots + x_n$
2	x_1 или $x_2 + x_3 + \dots + x_{n-1}$	$n + 1$	x_2 или $x_3 + x_4 + \dots + x_{n-1}$
3	x_1 или $x_2 + x_3 + \dots + x_{n-2}$	$n + 2$	x_2 или $x_3 + x_4 + \dots + x_{n-2}$
	...		...
$n - 1$	x_1 или $x_2 + x_3$	N	x_{n-2} или $x_{n-1} + x_n$

Приписываем начальные оценки полезностям отдельных результатов $U_0(x_1), U_0(x_2), \dots, U_0(x_n)$. Подставляем эти оценки в начальное соотношение табл. 1. Если оно удовлетворяется, то оценки не изменяем. В противном случае производим коррекцию полезностей так, чтобы это соотношение удовлетворялось. После этого переходим к следующему соотношению. Процесс коррекции продолжается до тех пор, пока не образуется система оценок $U^*(x_1), U^*(x_2), \dots, U^*(x_n)$, которая будет удовлетворять всем указанным в табл. 1 соотношениям. Коррекцию следует производить таким образом, чтобы изменять оценки для минимального числа результатов.

Такая методика определения полезности применима, когда количество результатов n ограничено ($n \leq 7$). В случаях, когда $n > 7$, предлагается применять модифицированный способ коррекции оце-

нок [4]. Согласно этому способу множество результатов A разбиваем на подмножества, состоящие из 5-7 результатов, из которых один общий, например, x_1 . Затем приписываем начальные значения полезностям для всех результатов, причем полезность общего результата x_1 одинакова во всех подмножествах. Далее применяем способ коррекции оценок полезности независимо для каждого из подмножеств при ограничении $U(x_1) = const$. В результате получаем систему оценок полезности с единой мерой для всех подмножеств $U(x_1)$:

$$f(x_0) = \max_{x \in A} f(x)$$

Очевидно, что целевая функция (полезность), на основе которой производится выбор наилучшей альтернативы, может быть построена на основе эквивалентности. Целевые функции $f_1(x)$ и $f_2(x)$ характеризующие одно и то же свойство выбираемого решения и определенные на одном множестве альтернатив, эквивалентны, если они определяют на нем одно и то же отношение слабого предпочтения, то

есть если для двух произвольных альтернатив x_1 и x_2 из f_1 следует, что $x_1 \geq x_2$, и наоборот. Здесь индекс f_i над знаками слабого

предпочтения указывает на функцию, с помощью которой задается это отношение. Из данного определения следует, что эквивалентные целевые функции определяют на множествах A те же самые отношения строгого предпочтения и эквивалентности.

Всесторонний анализ и учет информации позволяют своевременно реагировать на изменения внешней и внутренней среды. Для того чтобы разработать эффективную стратегию управления, необходимо учесть большое число факторов, отслеживать все узкие места, чтобы знать, каким внутренним ресурсом организация сейчас располагает, сосредотачиваясь только на приоритетных в настоящий момент факторах.

Концептуальная модель включает в себе основные направления развития и ключевые идеи, на основе которых выстраивается стратегический план организации. При его разработке нужно ориен-

тироваться на критерии, которые часто называют SMART-критериями. К ним относятся:

1. *Конкретность (Specific).*

Исключаются формулировки типа «повышение эффективности работы предприятия», так как при этом не определено, что такое эффективность и насколько именно ее надо повысить.

2. *Измеримость (Measurable).*

Если цель нельзя измерить, ее достижение невозможно контролировать, поэтому при утверждении какого-либо показателя в качестве цели необходимо определить, как этот показатель будет рассчитываться.

3. *Достижимость (реализуемость) (Achievable).*

С одной стороны, цели должны требовать напряженной и эффективной работы для своего достижения, но, с другой стороны, они должны быть реальными. При проверке достижимости целей нужно учитывать еще и такой важный момент: чаще всего целей у организации несколько, поэтому их изначально следует согласовать. Иногда цели противоречат друг другу, тогда при установке численных значений нужно определять диапазоны, в которых данные цели могут быть совмещены. Под противоречивостью подразумевается то, что конкретные значения выбранных показателей не могут быть достигнуты одновременно.

4. *Значимость (Relevant).*

При определении целевых показателей организации нужно обязательно оценивать их с точки зрения значимости и каждый раз задаваться вопросом о целесообразности их использования.

5. *Определенность во времени (Timed/Timed-bound).*

Достижение целей следует всегда привязывать к конкретным срокам. Кроме того, иногда возникает необходимость в корректировке целей по ходу реализации стратегического плана компании. Пересмотр цели может быть связан с тем, что определенные факторы не были учтены или были учтены неправильно. При этом промежуток времени, после которого вносятся такие корректировки, определяется заранее.

Выводы

1. Применение системного подхода к процессу принятия управленческих решений как совокупности взаимосвязанных элементов в коммуникационно-информационной среде позволит топ-менеджерам предприятия научно обосновывать управленческие процессы.

2. Разработанная концептуальная модель принятия управленческих решений в коммуникационном процессе дает возможность подходить к проблеме принятия научно-обоснованного управленческого решения на предприятии, повышать эффективность деятельности его топ-менеджеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дерлоу Дес. Ключові управлінські рішення. Технологія прийняття рішень: посіб. / Дерлоу Дес.-К.:Всесвіт, Наукова думка, 2001. - 242с.
2. Завалкевич. Принятие решений: Психологические аспекты оптимизации/Л. Завалкевич // Антикризисный менеджмент.-2003.-№ 9. - с. 14-18.
3. Минцберг Г. Школы стратегий / Г. Минцберг, Б. Альстренд, Дж. Лембел; пер. с англ.. Ю.Н. Каптуревского. – СПб.: Питер, 2000. – 670с.
4. Plunkett, W. Richard. Management: meeting and exceeding customer expectations/ Warren R. Plunkett, Raymond F. Attner. – 7th ed. – Darien: South-Western, 2002. – 798 p.
5. Мескон М.Х. Основы менеджмента: учеб. / М.Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури. – М.: Дело, 1997. – 704 с.
6. Управление организацией: учеб. / Под ред. А.Г. Поршнева, З.П. Румянцевой, Н.А. Саломатина. – М.: ИНФРА-М, 2002. – 669 с.
7. Саймон Г. Менеджмент в организациях: учеб. / Г. Саймон, Д. Смитбург, В. Томпсон. – М.: Экономика, 1995. – 335с.

Т.М. Кадильникова, Л.Ф. Сушко, В.А. Кулик

**КОНТРОЛЬ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ
СИТУАЦИОННОГО АНАЛИЗА**

Анотація. У статті розглянуті питання ухвалення правильного управлінського рішення при діагностиці стану технічних об'єктів. Для вирішення цих завдань пропонується використання технологій ситуаційного аналізу. Розглядається можливість використання факторного і кореляційного аналізу для виявлення основних структурних параметрів.

Ключові слова: управлінське рішення, діагностика стану, ситуаційний аналіз.

Актуальность темы

Технико-экономические показатели технических объектов неразрывно связаны с затратами на ремонт и обслуживание в процессе их эксплуатации. В то же время из-за несовершенства методов и средств технического обслуживания порой создаются ситуации, когда значительное число машин и механизмов направляется на ремонт необоснованно. Анализ и диагностика технических объектов помогают точно определить факторы, влияющие на функционирование, а, следовательно, способствуют принятию правильного управленческого решения. На основании проведенного анализа можно определить негативные моменты, которые необходимо ликвидировать или так скорректировать, чтобы уровень отрицательного воздействия снизился. Решение этих проблем необходимо для предотвращения нежелательного развития ситуации в их эксплуатации. Технологии ситуационного анализа позволяют не ограничиваться принятием управленческого решения в конкретной ситуации, а, основываясь на более глубоком анализе ситуации, обоснованно принимать долговременные управленческие решения, вплоть до корректировки режимов их функционирования.

Анализ последних исследований и публикаций

В рассмотренных источниках литературы [1-5] представлены обзоры инструментальных и параметрических методов диагностики. Параметрический метод заключается в периодическом или непрерывном наблюдении за рабочими параметрами с помощью штатных средств технической диагностики, в сравнении их с допустимыми величинами и принятии решений по выполнению регулировочных или ремонтных операций. Оценку технического состояния средств в этом случае проводят как по частным, так и по обобщенным показателям. Частные показатели оцениваются по соответствующим штатным приборам. К обобщенным показателям относятся: мощность, производительность, удельный расход энергии или топлива и т.п. Инструментальный метод заключается в оценке технического состояния деталей и узлов с помощью универсальных или специализированных измерительных инструментов, как правило, на неработающем или частично разобранном оборудовании, что негативно сказывается на экономических показателях предприятия из-за вынужденных простоев оборудования.

Как параметрические, так и инструментальные методы не могут указывать на причину изменения параметров без дополнительных исследований, а, следовательно, не могут рассматриваться как основные и должны использоваться только в сочетании с другими методами для представления целостной картины текущего состояния объекта. Современные разработки в целом позволяют справиться с поставленной задачей, но обладают следующими недостатками:

- высокой стоимостью;
- отсутствием мобильности;
- низкой точностью и достоверностью полученных результатов;
- морально устаревшей технической базой;
- небольшим числом съемных параметров [2].

Цель работы

Целью работы является применение ситуационного анализа для контроля текущего состояния технических объектов в процессе их эксплуатации.

Достижение поставленной цели требует решения следующих задач:

- 1) определить теоретические основы анализа и диагностики ситуации;
- 2) рассмотреть этапы ситуационного анализа;
- 3) выявить основные методы, применяемые при анализе ситуации;
- 4) рассмотреть анализ ситуации.

Изложение основного материала исследования

Для адекватного представления состояния технического объекта, как правило, используются не только количественные данные, но и данные качественного характера. Это обеспечивается с помощью широко используемых в процессе принятия решений экспертных технологий. Целесообразной при получении и обработке информации о текущем состоянии является подготовка аналитического материала, отражающего основные особенности и тенденции развития ситуации.

Чтобы иметь возможность установить динамику развития ситуации под воздействием тех или иных факторов, необходимо перейти к количественным методам, вводя в рассмотрение количественные представления факторов в виде переменных, значения которых могут изменяться в том или ином диапазоне в зависимости от внешних или внутренних воздействий, и называются структурными параметрами.

Произведем формализацию задачи принятия решений.

Обозначим для представленной задачи через X множество векторов состояний; P – множество векторов параметров задачи; Ω – множество векторов внешних возмущений (состояний внешней среды); Y – множество векторов выходных переменных. Тогда математическая модель задачи принятия решений описывается отображением y вида:

$$y : X \times P \times \Omega \rightarrow Y \quad (1)$$

В зависимости от вида отображения существуют различные типы моделей. Так, в зависимости от степени изменчивости параметров и внешних возмущений, модели могут быть статическими или динамическими. Если параметры P и внешние возмущения Ω остаются неизменными во времени, то математическая модель будет статической. В противном случае, имеем динамическую модель ситуации принятия решений. Отображение y , описывающее динамическую модель, может быть задано различными классами дифференциальных и разностных уравнений.

Математические модели различаются также видом внешних возмущений, которые могут быть как детерминированными, так и случайными.

Если возмущения не случайные, то их можно отнести к параметрам P , и тогда детерминированная модель будет описываться отображением вида

$$y : X \times P \rightarrow Y \quad (2)$$

Если же возмущения являются случайными, то имеем стохастическую модель задачи принятия решений, которая описывается общим отображением (1). В этом случае выходные переменные будут также случайными, их распределения при заданных параметрах P будут определяться распределениями внешних возмущений.

В случае наличия n возможных результатов $x_1, x_2, \dots, x_n$, между которыми установлено отношение предпочтения: $x_1 \succ x_2 \succ \dots \succ x_n$, Определяем величину α_1 из условия $\alpha_1 U(x_1) = U(x_2)$.

Аналогично определяем $\alpha_2 U(x_2) = U(x_3)$, $\alpha_n U(x_n) = U(x_{n-1})$.

Положив полезность наименее предпочтительного результата x_n равной 1, находим:

$$\begin{aligned} U(x_n) &= 1; \\ U(x_{n-1}) &= \frac{1}{\alpha_{n-1}}; \\ U(x_{n-2}) &= \frac{1}{\alpha_{n-2} \cdot \alpha_{n-1}}; \\ &\dots \\ U(x_1) &= \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_{n-1}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Составляем возможные комбинации результатов, а затем устанавливаем их предпочтение относительно отдельных результатов $x_1, x_2, \dots, x_n$ на основе обработки статистической информации, классифицируя параметры задачи как существенные, так и несущественные, основные и неосновные, внутренние и внешние.

По результатам обработки статистических данных может производиться детализация либо, наоборот, укрупнение параметров. Рассчитанные на основании обработки данных коэффициенты влияния каждого из выделенных параметров позволяют, с одной стороны, оп-

ределить ранжирование по важности, т. е. расположить параметры в порядке убывания их важности, а с другой – получить формулу для расчета ожидаемых значений показателей, характеризующих ситуацию, при том или ином изменении значений.

Благодаря полученным результатам можно более обоснованно оценивать ожидаемые изменения ситуации при тех или иных ожидаемых изменениях параметров вследствие наметившихся тенденций либо управленческих воздействий, целесообразность которых устанавливается в процессе использования технологий ситуационного анализа.

Избыток информации о параметрах, определяющих развитие ситуации, приводит к снижению качества проводимого ситуационного анализа, сопровождается понижением размерности задачи принятия решения, способствует установлению наиболее существенных факторов, определяющих развитие ситуации.

Для выявления структурных параметров, определяющих развитие ситуации, могут быть использованы специально разработанные методы, такие, как факторный и корреляционный анализ, многомерное шкалирование и др. Эти же методы используются и для установления сравнительной важности, весомости признаков при формировании динамики развития ситуации, а также характера их влияния.

При наличии индексов важности либо весомости признаков целесообразно также определение пороговых значений, превышение или приближение к которым должно вызывать соответствующие управленческие решения и действия со стороны лица, принимающего решение. На основании проведенного анализа ситуации определяются наиболее чувствительные моменты, которые могут привести к нежелательному развитию событий, и возникающей в связи с этим проблемы в функционировании технических объектов. Решение этой проблемы необходимо для предотвращения нежелательного развития ситуации, связанной с поломкой и простоем оборудования.

Анализ поступившей информации о ситуации принятия решения начинается с поиска возможных аналогов, предусмотренных технической документацией. Информация об аналогах представлена в виде некоторой эталонной информационной базы.

Эта база характерна тем, что о ней достаточно много известно, даже то, какие решения принимались, каковы результаты принятых

решений и какие решения приводят к цели. Информация об аналогичной эталонной ситуации передается экспертной комиссии для подготовки окончательного заключения. Если возникшая ситуация такова, что кажется близкой к одной из эталонных ситуаций, то необходимо оценить, насколько существенны имеющиеся различия.

Иногда различия в ситуации, на первый взгляд не очень существенные, могут приводить при одних и тех же действиях к противоположным результатам. И в этом случае информация в соответствующей эталонной ситуации передается экспертной комиссии для выработки окончательного заключения, при этом выделяются следующие подсистемы:

1. Подсистема анализа проблемной ситуации. Основным назначением подсистемы является формирование набора входных величин на основе распознанного изображения исследуемого объекта и полученных дополнительных характеристик исследуемого объекта.

2. Интеллектуальная подсистема поиска решений – основная подсистема, на которую возлагаются функции разрешения сложившейся ситуации с диагностируемым объектом на основе реализации набора моделей и методов.

3. Подсистема советов и объяснений – подсистема, которая способна при помощи интеллектуальной подсистемы поиска решений «предложить совет или осуществить решение поставленной задачи», т.е. вывести набор выходных величин Y для разрешения сложившейся ситуации с диагностируемым объектом.

4. Подсистема приобретения знаний и модификации системы, предназначенная для получения и идентификации новых знаний, как от пользователя через пользовательский интерфейс, так и от интеллектуальной подсистемы поиска решений после разрешения новой ситуации.

5. Пользовательский интерфейс предназначен для корректной передачи ответов технологу в процессе диагностики объекта в удобной для него форме и для манипуляций со знаниями.

6. Подсистема хранения информации, которая содержит в себе три составляющие:

- база данных (предназначена для хранения количественной информации о диагностируемых объектах);

- база прецедентов (предназначена для хранения набора вариантов, используемых разрешения сложившейся ситуации с диагностируемым объектом);

- база знаний (предназначена для хранения качественной информации в виде экспертных заключений).

7. Подсистема интеграции с внешними источниками знаний, которая предназначена для взаимодействия пользовательского интерфейса с разными информационными системами, с целями получения новых знаний и легкой адаптации на новом производственном комплексе.

Выводы

При контроле текущего состояния технических объектов в процессе их эксплуатации в настоящее время наблюдается основных тенденции: 1) получать диагностические признаки путем простой обработки большого числа измеряемых параметров; 2) получать указанные признаки путем сложной обработки малого числа измеряемых параметров. Вторая тенденция предполагает построение математической модели на основе ситуационного анализа, определение структуры полученной системы в виде совокупности подсистем, а также выявление свойств её элементов и причинно-следственных связей, присущих системе с учетом специфики диагностики и объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Okude; Keiichi. Control device for a diesel engine. United States Patent Application 20060219214. October 5, 2006.
2. Ф.Я. Балийкий, М.А. Иванова, и др. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов - М.: Наука, 1984. 6. Mick Corse, Diagnostic valve system of diesel engine. United States Patent Application 6705258. Mar.16, 2004.
3. Kumar; Sanath V.; DOC and particulate control system for diesel engines December United States Patent Application. 21, 2005.
4. Uchiyama; Ken; United States Patent Application 20060054132. March 16, 2006.
5. Ле Ван Дием. Модели и алгоритмы технического диагностирования судовых дизельных установок в процессе эксплуатации: диссертация к.т.н.: 05.13.06 СПб., 2006 177 с. РГБ ОД, 61:07-5/451.

СОДЕРЖАНИЕ

Бабенко Ю.В., Ланська С.С.

Дослідження параметрів імітаційних моделей динамічних систем зі змінним за станом запізненням 3

Журба А.О., Журба Д.І., Михальов О.І., Дерев'янюк О.І.

Дослідження фрактальних властивостей сніжинок 12

Левченко Д.А., Зимогляд А.Ю., Гуда А.Ю.

Использование датчика Холла при измерениях расстояний в манипуляционных системах 22

Михалев А.И., Солдатов М.А., Стенин А.С.

Модальный синтез оптимальных законов стабилизации объектов управления с транспортным запаздыванием 30

Цвіркун Л.І., Крісанова А.В., Панферова Я.В.

Математична модель завантаження стрічкового конвеєра як об'єкта контролю 39

Шумейко А.А., Смородский В.

Быстрое дискретное тригонометрическое преобразование со свободным фазовым сдвигом 46

Балакін В.Ф., Соловйова І.А., Николаєнко Ю.М., Білан К.С.

Проектування комбінованих маршрутів виробництва холоднодеформованих труб 56

Островська К.Ю., Островський Є.В.

Розробка модулю розширення керування макросами для Microsoft Excel засобами C# 63

Гнатушенко В.В.

Дослідження споживання енергії в бездротовій сенсорній мережі залежно від тривалості робочого циклу 71

Дорош Н.Л., Петречук Л.М.

Дослідження часового ряду спеціалізованої інформації 77

Беспалов О.Л., Соколов К.Д., Приходько С.В.,**Замковой О.В., Шевченко Д.А., Мельник С.А.,****Новиков Н.Н., Овчарук Д.С., Солоха В.В.**

Технологии производства ферроникеля из руд различных месторождений 87

Дмитрієва І.С.

Геометричні параметри зубчатої передачі та профіль зуба 98

Кирия Р.В.

Применение метода Понтрягина при определении среднего объема груза в аккумулярующем бункере, работающем в режиме поддержания в нем объема груза в заданных пределах 105

Селівьорстова Т.В.

Дослідження поведінки мультиагентної системи на основі імітаційної моделі стратегічної поведінки..... 121

Шинковская И.Л., Заец И.П., Лазарева Е.Д.

Концептуальная модель принятия управленческих решений в стратегической деятельности организации..... 135

Кадильникова Т.М., Сушко Л.Ф., Кулик В.А.

Контроль текущего состояния технических объектов на основе применения ситуационного анализа 142

РЕФЕРАТЫ

УДК 004.94

Бабенко Ю.В., Ланська С.С. **Дослідження параметрів імітаційної моделі динамічної системи зі змінним за станом запізненням** / Ю.В. Бабенко, С.С.Ланська // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.3 - 11.

В роботі проводиться дослідження впливу параметрів динамічної системи з нелінійним запізненням. Побудовано імітаційну модель динамічної системи. Отримано фазові портрети та графіки поведінки розв'язку динамічної системи.

Бібл. 3, іл. 1.

УДК 530.1

Журба А.А., Журба Д.И., Михалев А.И., Деревянко А.И. **Исследование фрактальных свойств снежинок** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.12 - 21.

В статье рассматривается вычисление таких фрактальных свойств как фрактальная размерность и построение фрактальных распределений снежинок разных типов.

Библ. 3, ил. 1.

УДК 004.681.2.08

Левченко Д.А., Зимогляд А.Ю., Гуда А.І. **Використання датчика Холла при вимірах відстаней в маніпуляційних системах** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.22 - 29.

Експериментально досліджено можливість використання датчика Холла для позиціонування. Отримано результати, щодо точності та лінійності системи вимірювання, побудовано графіки залежності відстані до напруги. Розглянуто реакцію системи з датчиком Холла, на зміну відстані, побудовано модель цієї залежності.

Бібл. 3.

УДК 681.51

Михалев А.И., Солдатова М.А., Стенин А.С. **Модальный синтез оптимальных законов стабилизации объектов управления с транспортным запаздыванием** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.30 - 38.

Предложен модальный синтез оптимальных законов стабилизации объектов управления с транспортным запаздыванием в виде линейной комбинации переменных состояния, позволяющих обеспечить заданные динамические свойства замкнутой оптимальной системы. Модальный синтез оптимальных законов стабилизации осуществляется на основе метода неопределенных коэффициентов и процедуры выбора и коррекции спектральных(собственных чисел) замкнутой оптимальной системы. Для устранения возникновения из-за наличия запаздывания устойчивых автоколебаний в конечной точке процесса стабилизации вблизи программной траектории движения предлагается использовать метод компенсации запаздывания Бэсса.

Библ. 9.

УДК 622.647.2

Цвиркун Л.И., Крисанова А.В., Панферова Я.В. **Математическая модель загрузки ленточного конвейера как объекта контроля** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.39 - 45.

Рассматривается процесс заполнения насыпным грузом конвейерной ленты угольной шахты. Предложена математическая модель загрузки конвейера и исследованы ее параметры с целью дальнейшей автоматизации с применением систем видеоконтроля. Показано, что анализ полученных изображений ленты позволяет определить ширину насыпанного угля, а, следовательно, и загрузки конвейера.

Библ. 3, илл. 2.

УДК 004.627, 004.921

Шумейко О., Смородський В. **Швидке дискретне тригонометричне перетворення з вільним фазовим зрушенням** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.46 - 55.

У статті розглянуто використання дискретного тригонометричного перетворення з фазовим зрушенням до задачі стиску зображень. Показано, що при всіх рівних умовах, перетворення дає кращі результати, ніж дискретне косинус-перетворення, що використовується в методі JPEG.

Бібл. 7.

УДК 621.774.35

Балакан В.Ф., Соловьева И.А., Николаенко Ю.Н., Белан К.С. **Проектирование комбинированных маршрутов производства холоднодеформированных труб** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.56 - 62.

Разработаны алгоритм и программное обеспечение, которое решает вопросы проектирования комбинированных маршрутов производства холоднодеформированных труб на базе математических моделей процессов деформации.

Библ. 5, рис. 8, табл. 1

УДК 004.4'236

Островська К.Ю., Островський Є.В. **Розробка модулю розширення керування макросами для Microsoft Excel засобами C#** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.63 - 70.

В результаті розроблено модуль розширення керування макросами для Microsoft Excel засобами C#, який дозволяє запускати макроси з використанням вхідних параметрів та керувати переліком макросів які знаходяться в документі.

Бібл.3.

УДК. 004.94:004.7: 519.872.6

Гнатушенко В.В. **Исследование потребления энергии в беспроводной сенсорной сети в зависимости от длительности рабочего цикла** /В.В. Гнатушенко // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.71 - 76.

Исследовано энергопотребление узлов беспроводной сенсорной сети и выявлено, что основным фактором, который влияет на увеличение вероятности нарушения работы сенсорной сети является продолжительность рабочего цикла.

Библ.10, ил. 2.

УДК 681.3.06

Дорош Н. Л., Петречук Л.Н. **Исследование временного ряда специализированной информации** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.77 - 86.

Представлены результаты исследования временного ряда специализированной информации в созданной надстройке MS Excel, которая позволяет выполнить его спектральный анализ. Надстройка включает модули просмотра данных во временной и частотной областях. Проведен сравнительный анализ полученных результатов.

Библ. 9, ил. 8.

УДК 669.15'74 – 198:669.018.5

Беспалов О.Л., Соколов К.Д., Приходько С.В., Замковой О.В., Шевченко Д.А., Мельник С.А., Новиков Н.Н., Овчарук Д.С., Солоха В.В. **Технологии производства ферроникеля из руд различных месторождений** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.87 - 97.

В работе приведены результаты сравнительного анализа показателей производства ферроникеля в условиях Побужского ферроникелевого комбината с использованием никельсодержащего сырья отечественного (Капитановского) и зарубежных (Новая Каледония, Индонезия, Гватемала) месторождений. Внедрение в производство инновационно-инвестиционных мероприятий: предварительная сушка руды; получение огарка в трубчатых вращающихся печах с использованием пылеугольного топлива (ПУТ); реконструкция печи № 1, позволившая повысить ее фактическую мощность до 42 МВт; освоение технологии выплавки чернового ферроникеля в этой печи с недостатком восстановителя и др. обеспечили возможность значительно снизить себестоимость продукции и повысить эффективность производства. Методом рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) исследовано распределение примесных элементов в пробах чернового ферроникеля традиционной и осваиваемой технологий. Показано, что сера находится в виде сульфида марганца (MnS), а ее содержание в 2 раза выше, чем в обычном сплаве.

Библ. 9.

УДК 004.94

Дмитриева И.С. **Геометрические параметры зубчатой передачи и профиль зуба** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.98 - 104.

Работа посвящена исследованию особенностей геометрических параметров зубчатого зацепления и профиля зуба. Рассмотрены эвольвентный, прямолинейный и треугольный профили зуба и выполнено сравнение рассчитанных параметров.

Библ. 3, ил. 6, табл. 1.

УДК 622.647.2

Кирія Р.В. **Застосування методу Понтрягина при визначенні середнього об'єму вантажу в акумулюючому бункері, що працює в режимі підтримки в ньому об'єму вантажу в заданих межах** / Р.В. Кирія // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.105 - 120.

На підставі принципу Понтрягина для марківських процесів з безперервним часом і дискретним станом отримано системи рівнянь щодо середніх часів досягнення заданих максимальних і мінімальних об'ємів вантажу в акумулюючому бункері, що працює в режимі підтримки в ньому об'єму вантажу в заданих межах. Отримано залежність середнього об'єму вантажу в бункері від продуктивності живильника. Результати аналітичних досліджень відрізняються від результатів імітаційного моделювання на 10–15 %.

Бібл. 7, іл. 3.

УДК 004.942

Селивёрстова Т.В. **Исследование поведения мультиагентной системы на основе имитационной модели стратегического поведения** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.121 - 134.

Рассмотрены постановки задачи поведения движущихся объектов в рамках класса задач, который носит условное название «задача о диффузионной бомбе». Выполнена программная реализация и исследование модели поведения движущихся объектов, которая заключается в «кооперативном» децентрализованном принятии подвижными объектами решений по выбору траекторий движения, в рамках заданной цели.

Библ.9.

УДК 159.923.2

Шинковська І.Л., Заєць І.П., Лазарева Є.Д. **Концептуальна модель прийняття управлінських рішень в стратегічній діяльності організації** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.135 - 141.

На основі узагальнення наукових поглядів закордонних і вітчизняних учених сформульовані загальні підходи до процесу прийняття управлінських рішень. Розроблено концептуальну модель процесу прийняття управлінських рішень.

Бібл. 7.

УДК159.923.2

Кадильникова Т.М., Сушко Л.Ф., Кулк В.О. **Контроль за поточним станом технічних об'єктів на основі застосування ситуаційного аналізу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (111). - Днепр, 2017. - С.142 - 148.

У статті розглянуті питання ухвалення правильного управлінського рішення при діагностиці стану технічних об'єктів. Для вирішення цих завдань пропонується використання технологій ситуаційного аналізу. Розглядається можливість використання факторного і кореляційного аналізу для виявлення основних структурних параметрів.

Бібл. 5.

UDK 004.94

Babenko Yu., Lanskaya S. **Investigation of parameters of the simulation models of dynamic systems with change able on state delay**/ Yu.Babenko, S. Lanskaya // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.3 - 11.

This paper studies the influence of parameters of nonlinear dynamic systems with delay. We have built simulation of dynamic systems. Also we obtained phase portraits and graphics of the dynamic system behavior.

Refs.3, ill. 1.

UDK 530.1

Zhurba A.A., Zhurba D.I., Mikhalyov A.I., Derevyanko A.I. **Investigation of the fractal properties of snowflakes** // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.12 - 21.

The article considers the calculation of such fractal properties as fractal dimension and the construction of fractal distributions of snowflakes of different types.

Bibl.3.

UDC 004.681.2.08

Levchenko D.A., Zimoglyad A.Y., Guda A.I. **Use of a hall sensor for measuring distances in manipulation systems** // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.22 - 29.

Experimentally investigated the possibility of using a Hall sensor for positioning. Results on the accuracy and linearity of the measurement system, plotted distance from voltage. The reactions of the system with a Hall sensor on the change in the distance, this model is built based.

Bibl.3.

UDC 681.51

Mikhalyov A.I., Soldatova M.A., Stenin A.S. **Modal synthesis of optimal laws for the stabilization of control objects with transport delay** // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.30 - 38.

It is suggested a modal synthesis of optimal stabilization laws of control objects with delay as a linear combination of the state variables, allowing to provide the specified dynamic properties of the closed optimal system. Modal synthesis of optimal laws of stabilization is based on the method of undetermined coefficients and choice and correction of the roots of closed optimal system. To eliminate the occurrence because of delay of stable self-oscillations at the end point near the given trajectory is proposed to use a method of compensation Bass delay.

Bibl.9.

UDC 622.647.2

Tsvirkun L.I., Krisanova A.V., Panferova Y.V. **Mathematical model loading conveyor belt as the object of control** // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.39 - 45.

The process of filling bulk cargo conveyor belt coal mine. The mathematical model loading conveyor and study its options for further automation with the use of video surveillance. It is shown that analysis of the images to determine the width of the strip poured coal, and, consequently, the loading conveyor.

Bibl.3.

UDC 004.627, 004.921

Shumeiko Aleksandr, Smorodskyi Vladyslav **A fast discrete trigonometric transformation with a free phase shift** // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.46 - 55.

The papers examines the use of the discrete trigonometric transform with phase shift in the problem of image compression. It is shown that in all things being equal, the trigonometric transform gives better results than the discrete cosine transform used in the JPEG-method.

Bibl. 7.

UDK 621.774.35

Balakin V.F., Solovyova I.A, Nykolaenko Yu.N., Belan K.S. **Design of combined production routes for cold rolling of pipes** // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.56 - 62.

The algorithm and software were developed, which solve design issues of combined production routes for cold rolling of pipes based on mathematical models of deformation processes.

Bibl. 5, il. 8, tab. 1

UDC 004.4b236

Ostrovskaya K.Yu., Ostrovsky E.V. **Development of the macro management extension module for Microsoft Excel using C #** // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.63 - 70.

As a result, the macro management extension module for Microsoft Excel is developed using C #, which allows you to run macros using input parameters and manage the list of macros in the document.

Bibl.3.

UDK 004.94:004.7: 519.872.6

Hnatushenko V.V. **Investigation of energy consumption in Wireless Sensor Networks in dependence from durations cycle** /V.V. Hnatushenko // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.71 - 76.

The energy consumption of the nodes of the wireless sensor network is investigated. It is revealed that the main factor that affects the increase in the probability of disruption of the sensor network is the duration of the working cycle.

Bibl. 10, ill. 2.

УДК 681.3.06

Dorosh N.L., Petrechuk L.N. **The study of the time series of specialized information** // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.77 - 86.

The results of time series specialized information research are submitted in MS Excel add-in that allows you to perform its spectral analysis. Add-ins include viewing data in the time and frequency domains. A comparative analysis of the results has been conducted.

Bibl. 9, il. 8.

UDC 669.15'74 - 198: 669.018.5

Bespalov O.L., Sokolov K.D., Prikhodko S.V., Zamkova O.V., Shevchenko D.A., Melnik S.A., Novikov N.N., Ovcharuk D.S., Solokha V.V. **Technology of ferronickel production from ores from various deposits** // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.87 - 97.

The results of the comparative analysis of ferronickel production indicators in terms Pobuzhsky ferro-nickel plant using domestic raw materials (Kapitanovskogo) and abroad (New Caledonia, Indonesia, Guatemala) deposits. Introduction of innovation and investment activities: pre-drying of ore; getting cinder in tubular rotary kilns using coal injection (PCI); reconstruction of furnace number 1, it will improve the actual power up to 42 MW; development of ferronickel smelting roughing technology in this furnace to a lack of a reducing agent, and others. have provided an opportunity to significantly reduce production costs and improve production efficiency. The method of X-ray microanalysis (EPMA) studied the distribution of trace elements in the samples of crude ferronickel and mastered traditional techniques. It is shown that the sulfur is present as manganese sulphide (MnS), and its content is 2 times higher than in the conventional alloy.

Bibl. 9.

UDC 004.94

Dmitrieva I.S. **Geometrical parameters of the tooth gear and tooth profile** // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.98 - 104.

The work is devoted to the study of the features of the geometrical parameters of the tooth gearing and tooth profile. Involute, rectilinear and triangular tooth profiles are considered, and the calculated parameters are compared.

Bibl. 3.

UDK 622.647.2

Kiriya R. **Pontryagin method application for accumulate bunker average bulk volume determination under given volumes regime** / R. Kiriya // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.105 - 120.

Based on Pontryagin principle for markov processes under continuous time and discrete state relative average times attainment for given maximum and minimum bulk volumes for accumulate bunker under given volume system equations were obtained.

Average bunker bulk volume vs feed productivity dependence was obtained. Analytical research results were distinguished from imitation modeling ones up to 10-15 %.

Bibl. 7, ill. 3.

UDC 004.942

Seliverstova T.V. **Investigation of behavior of the multiagent system based on the imitation model of strategic behavior** // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.121 - 134.

The formulation of the problem of the behavior of moving objects within the class of problems, which is conventionally called the "diffusion bomb problem", is considered. A program implementation and study of the behavior model of moving objects is carried out, which consists in the "cooperative" decentralized adoption by mobile objects of decisions on the choice of trajectories of motion, within the framework of a given goal.

Bibl. 9.

UDC 159.923.2

Shynkovskaya I., Zaet`s I., Lazareva E. The conceptual model of making management is in strategic activity of organization // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.135 - 141.

On the basis of generalization of scientific trends of foreign and domestic scientists, the common conditions to the process of making management decisions are formulated. The conceptual model of acceptance of administrative decision is developed.

Bibl. 7.

UDC 159.923.2

Kadylnykova T., Sushko L., Kulyk V. Control of current status of technical objects on the basis of application of situational analysis // System technologies. N 4(111) - Dnipro, 2017.- P.142 - 148.

The article considers the issues of making the right management decisions in the diagnosis of the condition of technical objects. To solve these problems we propose the use of technology situational analysis. The possibility of using factor and correlation analysis to identify key structural parameters.

Bibl. 5.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Бабенко Юлия Васильевна - к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

Ланская Светлана Сергеевна - аспирант кафедры информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

Журба Анна Алексеевна – к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Журба Дмитрий Иванович – аспирант кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Михалев Александр Ильич – д.т.н., профессор, заведующий кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Деревянко Александр Иванович – к.т.н., доцент, профессор кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Гуда Антон Игоревич - к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Зимогляд Андрей Юрьевич - аспирант кафедры информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

Левченко Дмитрий Александрович - аспирант кафедры информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

Солдатова Марія Олександрівна - асистент НТУУ «КП».

Стенін Олександр Сергійович - студент НТУУ «КП».

Цвіркун Леонід Іванович - професор кафедри автоматизації та комп'ютерних систем, канд. техн. наук, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет».

Крісанова Анна Володимирівна - асистент кафедри автоматизації та комп'ютерних систем, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет».

Панферова Яна Володимирівна - асистент кафедри автоматизації та комп'ютерних систем, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет».

Шумейко Александр Алексеевич - д.т.н., проф., Днепропетровского государственного технического университета, г.Каменское.

Смородский Владислав - Магистр Днепропетровского государственного технического университета, г.Каменское.

Балакін Валерій Федорович - д.т.н., зав. кафедри технологічного проектування Національної металургійної академії України.

Соловйова Інна Анатоліївна - к.т.н., доцент технологічного проектування Національної металургійної академії України.

Николаєнко Юлія Миколаївна - ст. викладач технологічного проектування Національної металургійної академії України.

Білан Костянтин Сергійович - асистент технологічного проектування Національної металургійної академії України.

Островська Катерина Юріївна - к.т.н., доцент кафедри Інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

Островський Євген Вікторович - аспірант 2ого курсу навчання Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Гнатушенко Вікторія Володимирівна - д.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургійної академії України.

Дорош Наталія Леонідівна - канд. техн. н., доцент, НметАУ, кафедра інформаційних технологій і систем.

Петречук Ліна Миколаївна - старший викладач, НметАУ, кафедра прикладної математики та обчислювальної техніки.

Беспалов Олег Леонидович – генеральный директор ООО ПФК.

Соколов Константин Дмитриевич – главный технолог ООО ПФК.

Приходько Сергей Владимирович – начальник ПТО ООО ПФК.

Замковой Олег Владимирович – аспирант каф. Электрометаллургии, Национальная металлургическая академия Украины.

Шевченко Дмитрий Александрович – зам. Начальника ПТО ООО ПФК.

Мельник Сергей Александрович – инженер ПТО ООО ПФК.

Новиков Никита Никитович – аспирант каф. Электрометаллургии, Национальная металлургическая академия Украины.

Овчарук Дмитрий Сергеевич - аспирант каф. Электрометаллургии, Национальная металлургическая академия Украины.

Солоха Вадим Владимирович – начальник конвертерного участка ООО ПФК.

Дмитрієва Ірина Сергіївна - к.т.н., доцент кафедри Інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

Кирия Руслан Виссарионович - к.т.н., ст. научн. сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Селівьорстова Тетяна Віталіївна – к.т.н., доцент, кафедра інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

Шинковская Ирина Леонидовна – ст. преподаватель кафедры высшей математики НметАУ.

Заец Ирина Петровна – ассистент кафедры высшей математики НметАУ.

Лазарева Евгения Дмитриевна – аспирант кафедры управления проектами НметАУ.

Кадильникова Татьяна Михайловна – профессор, зав. кафедры управления проектами, НметАУ.

Сушко Лариса Федоровна – ассистент кафедры высшей математики, НметАУ.

Кулик Владимир Алексеевич – аспирант кафедры управления проектами, НметАУ.