

ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Монографія

За загальною редакцією

д-ра екон. наук, професора В. С. Пономаренка

УДК 681.518.54

ББК 32.966

И 74

Рекомендовано до видання рішенням ученої ради Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця (протокол № 8 від 22 квітня 2019р.)

Рецензенти:

Семенов Сергій Геннадійович – академік Міжнародної академії інформатики, завідувач кафедри обчислювальної техніки та програмування, Національного технічного університету “ХПІ” доктор технічних наук, професор

Гришук Руслан Валентинович – доктор технічних наук, професор, начальник кафедри захисту інформації та кібербезпеки факультету охорони державної таємниці та інформаційного протидорства Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

И Информационная безопасность та інформаційні технології : монографія / за заг. ред. В. С. Пономаренка. – Х. : Вид. Рожко С.Г. 2019. – 327 с.

ISBN

Авторський колектив: Альошин Г.В., д-р техн. н., проф. – п. 3.7; Герасимов С.В., д-р техн. н. – п. 1.4; Засядько А.А., д-р техн. н. – п. 3.8; Иванов В.Г., д-р техн. н., проф. – п. 2.5; Козуля Т. В., д-р техн. н., проф. – п. 3.3; Коломійцев О.В., д-р техн. н. – п. 3.7; Смірнов О.А., д-р техн. н., проф. – п. 2.5; Четинкайя К., проф. – п. 1.1; Ткаченко Р.О. д-р техн. н., проф. – п. 3.2; Дакі О. А., канд. пед. н., доц. – п. 1.5; Дреєв О.М., канд. техн. н., доц. – п. 2.1; Дронюк І.М., канд. фіз.-мат. н., доц. – п. 1.2; Ізонін І.В., канд. техн. н. – п. 3.2; Козуля М. М., канд. техн. н., доц. – п. 3.3; Король О.Г., канд. техн. н., доц. – п. 1.1; Мельников В.А., канд. мед. н., доц. – п. 3.5; Мельникова Н.І., канд. техн. н., ст. викл. – 3.5; Орловський Д.Л., канд. техн. н., доц. – п. 3.1; Пунченко Н.О., канд. техн. н., доц. – п. 3.4; Серов Ю.О., канд. техн. н., доц. – п. 3.6; Смірнова Т.В., канд. техн. н. – п. 2.1; Солодка В.І., канд. техн. н., ст. викл. – п. 2.4; Ушакова І. О., канд. екон. н., доц. – п. 2.2; Федушко С.С., канд. техн. н., доц. – п. 3.6; Цира О.В., канд. техн. н., ст. викл. – п. 3.4; Шпак З.Я., канд. техн. н., доц. – п. 1.2; Гаврилова А.А. – п. 1.1; Дреєва Г.М. – п. 2.3; Копп А.М. – п. 3.1; Пустоваров В.В. – п. 1.3; Трофименко А.О. – п. 1.5; Штрибець В.В. – п. 1.4; Четінкайя К. – д-р техн. н., проф. – п.1.1.

В монографії отражені результати наукових досліджень в області розробки та практичного застосування інформаційної безпеки та сучасних інформаційних технологій.

Монографія представляє інтерес як для спеціалістів, сфера діяльності которых непосредственно связана с разработкой IT-технологий, способів забезпечення безпеки та передачі в комунікаційних системах, так і для більш широкого кола спеціалістів. Она будет полезной преподавателям, аспирантам и студентам, специализирующимся в области IT-технологий, и всем, кто серьезно интересуется проблемами взаимодействия информационных технологий и общества.

У монографії наведені результати наукових досліджень в галузі розробки і практичного застосування інформаційної безпеки та сучасних інформаційних технологій.

Монографія представляє інтерес як для фахівців, сфера діяльності яких непосредственно пов'язана з розробкою IT-технологій, способів забезпечення безпеки та передачі в комунікаційних системах, так і для більш широкого кола фахівців. Вона буде корисною викладачам, аспирантам і студентам, що спеціалізуються в області IT-технологій, і всім, хто серйозно цікавиться проблемами взаємодії інформаційних технологій і суспільства.

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.

ISBN

Колектив авторів, 2019

ЗМІСТ

Вступ	5
ГЛАВА 1 ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА ДЕРЖАВИ, СУСПІЛЬСТВА ТА ОСОБИСТОСТІ	
1.1. Побудова крипто-кодкових конструкцій для використання в постквантової криптографії	15
1.2. Побудова цифрового водяного знаку на основі узагальненого перетворення Фур'є	31
1.3. Пропозиції щодо застосування сучасних супутникових технологій для топогеодезичного забезпечення безпілотних літальних апаратів	46
1.4. Метод діагностичного контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту для зменшення витрат на перевезення вантажів	61
1.5. Принципи побудови автоматичних приладів для контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту	77
ГЛАВА 2 ПРОГРАМУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКА- ЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ	
2.1. Інформаційна технологія оптимізації технологічного процесу відновлення та зміцнювання поверхонь валів зі сталі як хмарний сервіс	92
2.2. Створення системи поширення push-повідомлень	108
2.3. Метод генерування фрактального трафіку за допомогою моделі генератора на графі	123
2.4. Оцінка якості сіткових 3D-об'єктів при різних швидкостях цифрового потоку	140
2.5. Сжатие изображений на основе автоматической и нечеткой классификации фрагментов	156
ГЛАВА 3. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ, МЕДИЦИНІ ТА ОСВІТІ	
3.1. Аналіз та вдосконалення бізнес-процесів організації із застосуванням референтних моделей	172

3.2. Комітет нейроподібних структур мпгп з поліноміальним розширенням входів для задач великих даних	188
3.3. Інформаційно-програмне забезпечення обробки та аналізу стану складних екологічних об'єктів	203
3.4. Стратегія рішень надання професійної медичної допомоги в районах техногенних катастроф на базі високих технологій	233
3.5. Персоналізований підхід до обробки та аналізу медичних даних пацієнтів	249
3.6. Визначення інформаційної забезпеченості системи верифікації даних	263
3.7. Основи теорії оптимізації радіоелектронних вимірювачів	278
3.8. Символічні моделі фізичних процесів, що описуються інтегральним рівнянням фредгольма першого роду	298
Додаток	315

ВСТУП

Сучасні інформаційні технології (ІТ) набули значного розвитку, як у світі, так й у різних галузях промисловості та господарчої діяльності в Україні. Це найбільш стрімкий та прогресивний напрямок, що дозволяє швидко реагувати на зміни у економіці та адаптувати виробничі технології підприємств й бізнес-процеси компаній щодо рівня їх конкуренто-спроможності на внутрішньому та світовому ринках. Поруч із цим важливим є рішення завдань забезпечення інформаційної безпеки, кібербезпеки та приватних даних на різних рівнях залучення ІТ у галузі промисловості та ін.

Розвиток сучасних ІТ тісно пов'язаний із дослідженнями та застосуванні засобів обробки великих даних (Big Data), технологіям Інтернету речей (IoT), розвитку теорії та практики штучного інтелекту (Artificial Intelligence) та засобів машинного навчання (Machine Learning). Розвиток цих напрямів обумовлений прогресом у теоретичних дослідженнях у галузі комп'ютерних наук, сучасним практикам та тенденціям у галузі програмної інженерії. Підґрунтям для такого зростання є вдосконалення та підвищення продуктивності обчислювальних ресурсів сучасних центрів обробки даних (ЦОД), формування послуг у вигляді хмарних обчислень (Cloud Computing).

Робота, що пропонується, поєднує розділи, які присвячені забезпеченню інформаційної безпеці держави, суспільства та особистості, програмуванню та інформаційно-комунікаційним технологіям. Поруч із цим, розглянуто особливості застосування інформаційних технологій в економіці, медицині та освіті. Ці напрямки та результати досліджень обговорено на Міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційна безпека та інформаційні технології”, яка проходила у місті Харкові 24–25 квітня 2019 року на базі Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця.

Монографія (розділ 1.1) містить результати за найсучаснішими науковими напрямками щодо побудови крипто-кодових конструкцій для використання в постквантової криптографії. Сучасні високі технології характеризується різким збільшенням обсягу оброблюваних даних, розвитком квантових технологій та штучного інтелекту у всіх сферах діяльності людства, появою гібридних загроз в кіберпросторі і зниженням рівня стійкості класичних алгоритмів традиційної і несиметричною криптографії. Проведені дослідження в області впливу квантових обчислень, що використовують явища квантової суперпозиції та квантової запутаності для передачі та обробки даних, показали, що квантові комп'ютери, які використовують спеціальні алгоритми (наприклад, алгоритм Шора), будуть здатні до факторизації чисел за поліноміальний час. Відповідні,

криптографічні системи на алгоритмах несиметричної криптографії (RSA, ECC, DSA), що є звичайними на сьогодні, будуть вразливі до атак типу “brute force” з використанням повномасштабного квантового комп’ютера. Тому основні дослідження і розробки криптографічних засобів захисту інформації (КЗІІ) спрямовані на пошуки рішень, що не мали б вразливостей щодо квантових обчислень і були б одночасно стійкими до атак за допомогою звичайних комп’ютерів. Такі алгоритми відносяться до розділу квантовостійкої криптографії. Тому, проведений аналіз побудови крипто-кодових конструкцій на модифікованих еліптичних кодах і синтез з процедурами нанесення збитку багатоканальної криптографії дозволяють будувати комплексні (гібридні) криптосистеми які забезпечують основні послуги безпеки даних в умовах гібридних загроз постквантової криптографії.

У розділі 1.2 запропоновано до застосування метод побудови цифрового водяного знаку для захисту одновимірних та двовимірних сигналів. Побудова цифрового водяного знаку базується на розробці одновимірного та двовимірного узагальненого перетворення Фур’є та Хартлі на основі Ateb-функцій як узагальнення тригонометричних функцій. Вбудовування цифрового водяного знаку реалізовано у частотній області за допомогою чотирьох різних методів. Проведено моделювання атак на захищені файли для підтвердження стійкості захисту запропонованим методом. Експериментальним шляхом встановлено високу стійкість розробленого методу до основних видів атак. Додатково побудований цифровий водяний знак можна використати для ідентифікації захищених файлів. Запропонований метод можна використовувати для захисту різноманітних сигналів: звукових, зображень, електронних файлів, тощо, які потребують захисту від несанкціонованого доступу, а також для ідентифікації.

Поруч із рішенням завдань захисту інформації, у розділі 1.3 монографії пропонується застосування сучасних супутникових технологій для топогеодезичного забезпечення безпілотних літальних апаратів, що є актуальним питанням, включно, до забезпечення безпеки та новітніми засобами ІТ у авіаційної галузі. Інформаційне забезпечення управління польотом включає багато складових. Не зменшуючи значення інших видів інформаційного забезпечення, слід визнати, що одне з центральних місць в завданні управління польотами відводиться топогеодезичному забезпеченню. У роботі надано пропозиції щодо практичного застосування сучасних супутникових технологій для топогеодезичного забезпечення польотів безпілотних літальних апаратів. Так, для розв’язання задач топогеодезичного

забезпечення можливо впровадження сучасних супутникових технологій для визначення прямокутних координат і висот стартової позиції, розробки комплексних одометричних навігаційних систем з коригуванням від засобів супутникової навігації, а також їх використання для точного визначення дирекційних кутів (азимутів) орієнтирних (вихідних) напрямків як існуючих, так і перспективних безпілотних літальних апаратів. Для оцінки можливостей використання сучасних супутникових технологій для топогеодезичного забезпечення безпілотних літальних апаратів пропонується використовувати методику, яка заснована на визначенні відносного зниження коефіцієнту ефективності виконання задач польоту за рахунок помилок топогеодезичної підготовки. Визначено, що доцільно використовувати комплексовану (інерціальну з GPS) систему топоприв'язки.

У розділі 1.4 надано метод діагностичного контролю технічного стану двигунів засобів у галузі водного транспорту для зменшення витрат на перевезення вантажів. Поруч із попередніми розділами можна висловити, що останнім часом збільшилась частина вантажоперевезень, включно, водним транспортом. При цьому застосовуються як відносно не великі засоби (судна) для транспортування вантажів річковим транспортом, та і великі засоби для трансатлантичних перевезень. Для економії коштів при перевезенні вантажів або при перевезенні продуктів харчування актуальним є завдання планування (прокладання) оптимального маршруту для зменшення часу руху. Однак, при цьому слід враховувати й технічний стан засобів водного транспорту, який може значно впливати на вартість перевезення. Отже, застосування запропонованих оптимальних фільтрів при спектральному аналізі випадкових сигналів діагностування технічного стану двигунів засобів водного транспорту дозволяє своєчасно виявити можливі несправності чи порушення у режимах роботи (відповідно до заздалегідь відомих, справних). Своєчасне виявлення можливих відмов двигунів засобів водного транспорту дозволить уникнути додаткових витрат під час перевезення вантажів, тобто зменшити додаткові (непланові) витрати.

Розділ 1.5 присвячено принципам побудови автоматичних приладів для контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту, що продовжує дослідження наведені у попередніх розділах монографії. Прилади контролю систем навігації та управління засобів водного транспорту за своїм функціональним призначенням складається з апаратури генератора вхідних вимірювальних впливів і апаратури, яка призначена для аналізу параметрів вихідного сигналу об'єкта контролю. Обґрунтована

доцільність і можливість побудови такої апаратури на базі цифрової дискретної техніки. Застосування цифрової дискретної апаратури контролю дозволяє реалізувати оптимальні методи контролю, забезпечує високу швидкість та точність контролю. Застосування такої апаратури дозволяє автоматизувати процес контролю. Принципи побудови та створені на основі цих принципів генератори вхідних сигналів дозволяють формувати вхідний сигнал потрібної форми з необхідним ступенем точності. Розглянуті принципи побудови та різні варіанти конструкції, які реалізують оптимальний алгоритм обробки вихідного сигналу об'єкта контролю. Імітаційна модель одного з варіантів такого приладу підтвердили правильність покладених в його основу принципів і показали високу точність і надійність роботи. Розглянуті варіанти побудови приладу контролю, в яких проводиться обробка вихідного сигналу на основі спрощених алгоритмів, що дозволяють суттєво спростити прилади контролю при одночасному збереженні достатньо високого захисту від перешкод.

У наступному розділі 2.1 монографії почато огляд технологій програмування та інформаційно-комунікаційні технології. У роботі пропонується Інформаційна технологія оптимізації технологічного процесу відновлення та зміцнювання поверхонь валів зі сталі як хмарний сервіс. У сукупності запропонована інформаційна технологія у вигляді хмарної системи вирішення задачі побудови оптимізованого ланцюга технологічних процесів відновлення та зміцнювання поверхонь валів, з вибором більш оптимального процесу серед альтернативних, за задачею.

Зараз одним із найзручніших засобів отримання даних хмарних сервісів є застосування смартфонів та портативних електронних пристроїв, наприклад, планшетів. Для таких засобів та звичайних систем на базі комп'ютерів актуальним постає питання застосування push-технологій. Тому, у наступному розділі 2.2 розглянуто та запропонований підхід до створення системи передачі push-повідомлень на основі веб-сервісу, що надає користувачеві-публікатору можливість взаємодіяти з системою. Перевагою цього підходу є використання шаблону мобільного додатка, що настроюється в візуальному конструкторі, а також система для збирання застосунку на основі цього шаблону.

У розділі 2.3 монографії показана актуальність проблеми створення генераторів фрактальних двійкових послідовностей без використання нескінченних розподілів. Запропоновано використовувати генератор фрактальної двійкової послідовності на основі кінцевого автомата. Показана можливість попереднього визначення фрактальної розмірності та ін. Отримано аналітичні вирази для отримання параметрів генератора з заданою щільністю

вихідних бітів і контролю їх фрактальної розмірності. Робота є цікавою у напрямку постійного збільшення трафіку у сучасних інформаційно-комунікаційних системах (ІКТ).

Для ІКТ справедливим є рішення завдань в умовах збільшення трафіку, тому у розділі 2.4 розробка присвячена визначенню оцінки якості сіткових 3d-об'єктів при різних швидкостях цифрового потоку. У разі опису складних об'ємних реальних об'єктів сітками необхідно рухатися в напрямку зменшення обчислювальних потужностей, так як в класичному вигляді кожна вершина об'єкта піддається математичному перетворенню, що збільшує на порядок обчислювальні витрати. Для зменшення обчислювальної складності сіткової моделі пропонується перехід в спектральну область, шляхом розбиття об'єкта на субполосні області з подальшою фільтрацією за допомогою Wavelet-перетворень.

Розділ 2.5 монографії присвячено рішення завдань комп'ютерного моделювання стиснення деяких класів реалістичних зображень. Представлені у дослідженні методики зйомки зображень на основі автоматичної та нечіткої класифікації фрагментів. Методи дозволяють істотно знизити обсяг даних для сильно насичених деталей зображень по порівнянню з існуючими. Це фактично завершує розділ, присвячений дослідженням потоків даних в умовах збільшення трафіку у мережах інфокомунікацій.

Наступні розділи монографії виконують огляд інформаційних технологій в економіці, медицині та освіті. Так, розділ 3.1 присвячено огляду основних особливостей використання моделей бізнес-процесів з метою накопичення, зберігання та поширення знань про діяльність організації. Висвітлюються питання повторного використання моделей бізнес-процесів для проектування нових або вдосконалення існуючих бізнес-процесів організації, зокрема використання референтних моделей, що являють собою еталонну схему організації бізнесу, перевірену на практиці у різних організаціях по всьому світу. Оскільки колекції моделей бізнес-процесів сучасних організацій можуть містити сотні або тисяч моделей, актуальною проблемою стає вибір варіантів побудови діючого бізнес-процесу для формування рекомендацій щодо його подальшого вдосконалення. Зважаючи на це, розглядається підхід до вибору референтних моделей бізнес-процесів, які схожі з діючими бізнес-процесами організації, його особливості на недоліки. Для опису моделей бізнес-процесів пропонується використовувати моделі представлення знань, а також пропонується визначення міри схожості відповідних описів моделей бізнес-процесів.

У розділі 3.2 запропоновано комітет нейроподібних структур моделі послідовних геометричних перетворень (МПП) з поліноміальним розширенням входів для задач великих даних. Цей розділ висвітлює сучасні завдання підприємств, які застосовують технології обробки Великих даних та відповідні засоби штучних нейронних мереж. Експериментальним шляхом встановлено високу ефективність використання розробленого методу в порівнянні з існуючими, зокрема щодо підвищення точності розв'язання поставленої задачі та задовільних результатів тривалості процедури навчання. Запропонований метод можна використовувати у різноманітних областях: медицина, інформаційна безпека, економіка, матеріалознавство, тощо, які вимагають точного та швидкого опрацювання Великих Даних.

Наступним кроком у колективній монографії є розділ 3.3, який розглядає інформаційно-програмне забезпечення обробки та аналізу стану складних екологічних об'єктів. На основі запропонованої у розділі монографії ентропійної оцінки якості складних систем і процесів в них, інформаційно-програмної підтримки вимірювально-розрахункових операцій за наданим методичним забезпеченням створена об'єктивна контрольна система оцінки рівня екологічної безпеки складних об'єктів “система – навколишнє середовище”.

У розділі 3.4 визначена стратегія рішень надання професійної медичної допомоги в районах техногенних катастроф на базі високих технологій. В роботі проведено аналіз динамічних характеристик і параметрів аналого-цифрового перетворювача, який показав, що для ефективного аналізу якості аналого-цифрового перетворювача широкосмугових сигналів потрібно визначати повні характеристики, які є основою для оцінювання частинних характеристик і динамічних параметрів аналого-цифрового перетворювача. Запропоновано застосування сучасних ІТ-технологій, а саме інтегрованих медичних інформаційних систем, при наданні екстреної медичної допомоги госпітальних-поліклінічними судами в районах природних катастроф і географічно віддаленій місцевості.

Застосування технології машинного навчання та великих даних для вирішення проблеми персоналізованого підходу в задачах прийняття медичних рішень та прогнозування стану дозволить вивчити випадкові механізми моделювання та прогнозування етапів лікування з урахуванням індивідуальних характеристик пацієнта, аналізу медикаментів та їх ключових характеристик. Ці питання детально розглянуто у розділі 3.5 монографії та запропоновано розробити систему підтримки медичних рішень для консолідації

персоналізованих даних пацієнта, що одержані з гетерогенних джерел охорони здоров'я. Запропоновано концептуальну схему системи та запропоновано нові підходи щодо консолідації та аналізу даних пацієнтів, прогнозування їх стану.

Поруч із цим, у монографії розглянуто (розділі 3.6) особливості визначення інформаційної забезпеченості системи верифікації даних. Описано розроблений метод визначення інформаційної забезпеченості системи верифікації даних користувачів віртуальних спільнот для розв'язання задач перевірки достовірності персональних даних веб-учасників. Інформаційна забезпеченість системи верифікації персональних даних є ключовим завданням для якісного функціонування системи і визначає повноту даних для коректної роботи системи верифікації персональних даних.

Наступний розділ 3.7 присвячено основам теорії оптимізації радіоелектронних вимірювачів. Запропоновано метод формування узагальненого показника якості вимірювальних систем. Показано, що такий показник справедливий для всіх типів дискримінаційних вимірювачів, а також як для вимірювачів і каналів будь-якого типу, так і для різних параметрів, що вимірюються. Також, узагальнений показник якості вимірювальних систем легко доповнюється зв'язками з іншими показниками.

Завершує колективну монографію розділ 3.8, що висвітлює рішення завдань у напрямку досліджень символічних моделей фізичних процесів, які описуються інтегральним рівнянням Фредгольма першого роду. Запропоновані моделі припускають розгляд змінних як в кінцевих, так і безкінечних межах. Досить прості вирази для виконання математичних операцій в області зображень дозволяють поширити символічний метод на нелінійні крайові задачі. Таким чином, у монографії відбиваються результати наукових досліджень із застосування та впровадження сучасних засобів інформаційної безпеки та особливості досліджень у галузі інформаційних технологій за різною тематикою та напрямками розвитку промисловості країни й зарубіжжя, визначаються ефективні рішення щодо поставлених проблем.

Монографія підготовлена колективом авторів у наступному складі:

1. Альошин Г.В., Українська державна академія залізничного транспорту, д.т.н., проф.; професор кафедри – розділ 3.7 (у співавторстві);
2. Гаврилова А. А., Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, старший викладач кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій – розділ 1.1 (у співавторстві);
3. Герасимов С.В., Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, д.т.н., ст. наук. співр., заступник начальника кафедри – розділ 1.4 (у співавторстві);
4. Дакі О.А., Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, к.пед.н., доцент кафедри – розділ 1.5 (у співавторстві);
5. Дреєв О.М., Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький – розділ 2.1 (у співавторстві);
6. Дреєва Г.М, Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький – розділ 2.3 (у співавторстві);
7. Дронюк І.М., Національний університет “Львівська політехніка”, к.ф.-м.н., доцент кафедри автоматизовані системи управління – розділ 1.2 (у співавторстві);
8. Засядько А.А., Черкаський навчально-науковий інститут ДВНЗ “Університет банківської справи”, доктор технічних наук, професор – розділ 3.8.
9. Иванов В.Г., Национальный юридический университет имени Ярослава Мудрого, профессор, доктор технических наук – розділ 2.5;
10. Ізонін І.В., Національний університет “Львівська політехніка”, к.т.н., асистент кафедри інформаційних технологій видавничої справи – розділ 3.2 (у співавторстві);
11. Козуля М.М., Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, к.т.н., доцент – розділ 3.3 (у співавторстві);
12. Козуля Т.В., Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., проф. – розділ 3.3 (у співавторстві);
13. Коломійцев О.В., д.т.н., ст. наук. співр., Заслужений винахідник України; начальник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба – розділ 3.7 (у співавторстві);
14. Копп А.М., Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, факультет комп’ютерних наук і програмної інженерії, кафедра програмної інженерії та інформаційних технологій управління,

аспірант, асистент – розділ 3.1 (у співавторстві);

15. Король О.Г., Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, к.т.н., доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій – розділ 1.1 (у співавторстві);

16. Мельников В.А., Львівський Національний Медичний Університет ім. Д. Галицького – розділ 3.5 (у співавторстві);

17. Мельникова Н. І., Національний університет “Львівська політехніка”, к.т.н., старший викладач кафедри “Системи штучного інтелекту” – розділ 3.5 (у співавторстві);

18. Орловський Д.Л., Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, канд. техн. наук, доцент – розділ 3.1 (у співавторстві);

19. Пунченко Н.О., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Навчально-науковий інститут метрології, автоматизації, інтелектуальних технологій та електроніки, к.т.н., доцент кафедри автоматизованих систем та кібербезпеки – розділ 3.4 (у співавторстві);

20. Пустоваров В.В., Харківське представництво генерального замовника – ДКА України, провідний інженер – розділ 1.3;

21. Серов Ю.О., Національний університет “Львівська політехніка” – розділ 3.6 (у співавторстві);

22. Смірнов О.А. Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький – розділ 2.3 (у співавторстві);

23. Смірнова Т.В., Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький – розділ 2.1 (у співавторстві);

24. Солодка В.І., Одеська національна академія зв’язку ім. О.С. Попова, к.т.н., старший викладач каф. ТЕЗ та М ім. А.Г. Зюко – розділ 2.4;

25. Ткаченко Р.О., Національний університет “Львівська політехніка”, д.т.н., проф., завідувач кафедри інформаційних технологій видавничої справи – розділ 3.2 (у співавторстві);

26. Трофименко А.О., Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, аспірант – розділ 1.5 (у співавторстві);

27. Ушакова І. О., Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, кандидат економічних наук, доцент – розділ 2.2;

28. Федущко С. С., Національний університет “Львівська політехніка”, к.т.н., доцент кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності – розділ 3.6 (у співавторстві);

29. Цира О.В., Одеська національна академія зв’язку ім. О.С. Попова, ННІ Інфокомунікацій та програмної інженерії, к.т.н., ст. викладач кафедри мереж

зв'язку – розділ 3.4 (у співавторстві);

30. Четінкайя Керім, д.т.н., проф. завідувач кафедри промислового дизайну Карабюцький університет (Турція) – розділ 1.1 (у співавторстві);

31. Шпак З.Я., Національний університет “Львівська політехніка”, к.т.н., доцент кафедри автоматизовані системи управління – розділ 1.2 (у співавторстві);

32. Штрибець В.В. Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, аспірант – розділ 1.4 (у співавторстві);

Кафедра кібербезпеки та інформаційних технологій Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця висловлює подяку всім дослідникам, які взяли участь у підготовці та публікації монографії.

ГЛАВА 1

ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА ДЕРЖАВИ, СУСПІЛЬСТВА ТА ОСОБИСТОСТІ

1.1. Побудова крипто-кодових конструкцій для використання в постквантовій криптографії

Вступ та постановка задачі. Поява епохи високих технологій характеризується різким збільшенням обсягу оброблюваних даних, розвитком квантових технологій та штучного інтелекту у всіх сферах діяльності людства, появою гібридних загроз в кіберпросторі і зниженням рівня стійкості класичних алгоритмів традиційної і несиметричної криптографії. Проведені дослідження в області впливу квантових обчислень, що використовують явища квантової суперпозиції та квантової заплутаності для передачі та обробки даних, показали, що квантові комп'ютери, які використовують спеціальні алгоритми (наприклад, алгоритм Шора), будуть здатні до факторизації чисел за поліноміальний час [1–3]. Отже криптографічні системи на алгоритмах несиметричної криптографії (RSA, ECC, DSA) будуть вразливі до атак “грубої сили” (brute force attacks) з використанням повномасштабного квантового комп'ютера. Тому основні дослідження і розробки криптографічних засобів захисту інформації (КЗІ) спрямовані на пошуки рішень, що не мали б вразливостей щодо квантових обчислень і були б одночасно стійкими до атак за допомогою звичайних комп'ютерів. Такі алгоритми відносяться до розділу квантовостійкої криптографії (quantum safe cryptography або quantum resistant cryptography) [3], серед яких спеціалістами NIST виділяються крипто-кодові системи Мак-Еліса і Нідеррайтера. Основними недоліками є обчислювальна складність їх реалізацій. Для забезпечення гарантованої стійкості необхідна потужність поля $GF(2^{10}-2^{13})$.

Основна перевага симетричних (схема Рао-Нама) і несиметричних крипто-кодових систем Мак-Еліса і Нідеррайтера полягає у високій швидкості криптоперетворень та одночасному забезпеченні достовірності конфіденційності даних які передаються відкритими каналами зв'язку [2, 3]. Загальна класифікація крипто-кодових систем і послуг безпеки, які забезпечують їх використання, наведені на рис. 1.

Для зниження енерговитрат криптоперетворень в НККС Мак-Еліса в роботі [2] пропонується використовувати модифіковані НККС (МККС) на модифікованих ЕС (МЕС).

Метою роботи є дослідження побудови крипто-кодових конструкцій на основі модифікації еліптичних кодів з подальшим нанесенням збитку на основі багатоканальної криптографії, аналіз властивостей безпеки та енергоємності модифікованих конструкцій Мак-Еліса в умовах постквантової криптографії.

Основна частина

Для модифікації лінійного блокового коду, що не зменшує мінімальну кодову відстань, полягає в укороченні його довжини шляхом скорочення інформаційних символів [1, 2]. В роботах [2, 3] наведений математичний апарат побудови модифікованих еліптичних кодів.

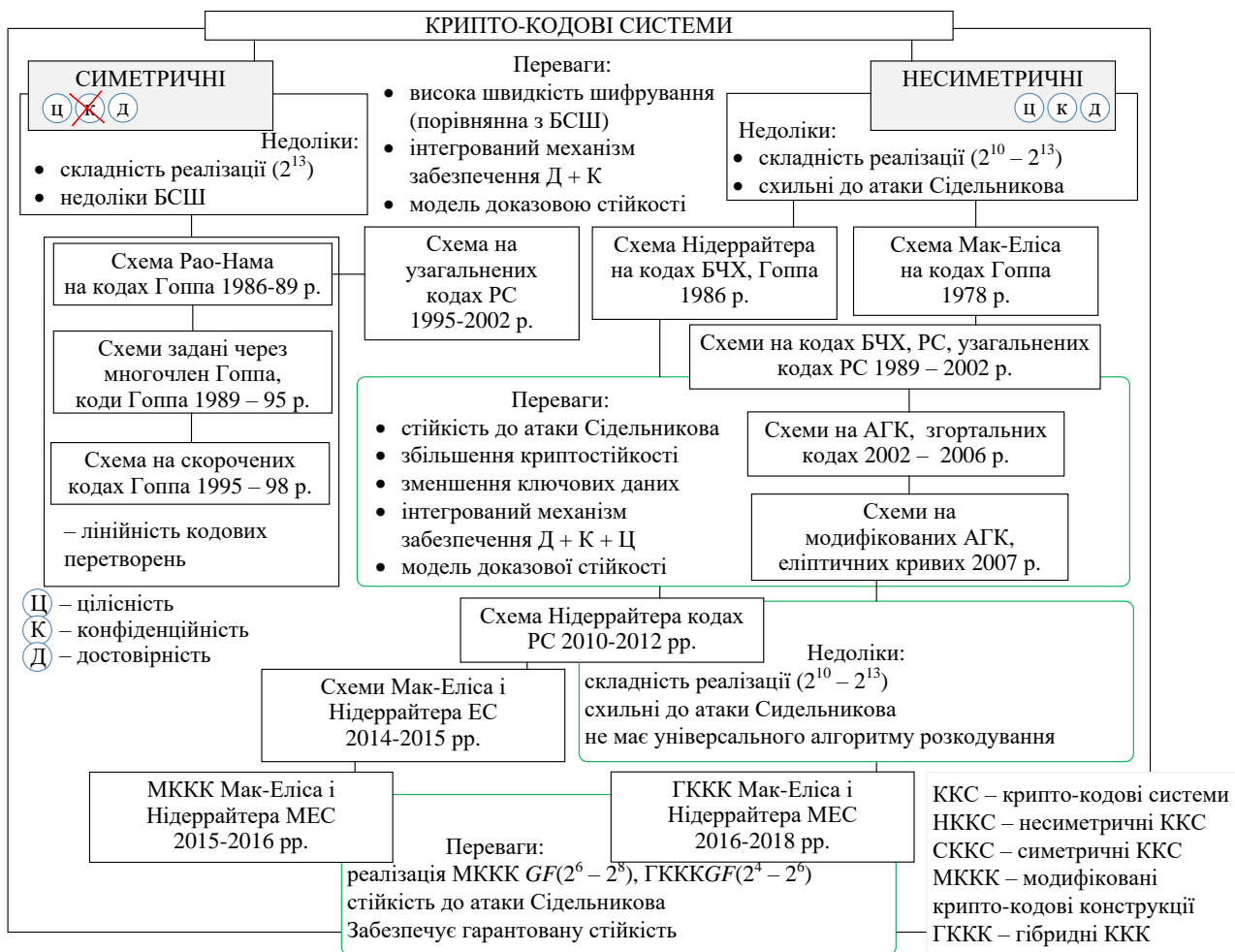


Рис. 1. Класифікація криптосистем на основі ККС

Для модифікації (укорочення) еліптичних кодів будемо використовувати зменшення набору точок кривої. Справедливі наступні твердження.

Твердження 1 [2]. Нехай ЕС – еліптична крива над $GF(q)$, $g=g(ЕС)$ – рід кривої, $ЕС(GF(q))$ – множина її точок над кінцевим полем, $N=ЕС(GF(q))$ – їх

кількість. Нехай X і h – непересічні підмножини точок, $X \cup h = EC(GF(q))$, $|h|=x$, $x \leq 1/2k$. При кодуванні інформаційного вектору символи множини h не беруть участь (вони нульові) і їх можна відкинути, а отримане кодове слово буде коротше на x кодових символів. Тоді укорочений еліптичний (n, k, d) код над $GF(q)$, побудований через відображення виду $\varphi: X \rightarrow P^{k-1}$, пов'язаний характеристиками $k+d \geq n$, причому:

$$n = 2\sqrt{q} + q + 1 - x, k \geq \alpha - x, d \geq n - \alpha, \alpha = 3 \cdot \deg F. \quad (1)$$

Твердження 2 [21, 25]. Укорочений еліптичний (n, k, d) код над $GF(q)$, побудований через відображення виду $\varphi: X \rightarrow P^{r-1}$, пов'язаний характеристиками $k+d \geq n$, причому: $n = 2\sqrt{q} + q + 1 - x, k \geq n - \alpha, d \geq \alpha, \alpha = 3 \cdot \deg F.$ (2)

Використовуючи результат тверджень 1 та 2 задамо МНККС Мак-Еліса на МЕС, побудовану через відображення виду $\varphi: X \rightarrow P^{k-1}$ та $\varphi: X \rightarrow P^{r-1}$. Справедливі такі твердження.

Твердження 3 [2]. Укорочений еліптичний (n, k, d) код над $GF(2^m)$, побудований через відображення виду $\varphi: X \rightarrow P^{k-1}$, визначає МККК на МЕС з параметрами:

– розмірність секретного ключа: $1_{K+} = (x - x_1) \times \lceil \log_2(2\sqrt{q} + q + 1) \rceil$; (3)

– розмірність інформаційного вектору (в бітах): $1_I = (\alpha - x + x_1) \cdot m$; (4)

– розмірність криптограми: $1_S = (2\sqrt{q} + q + 1 - x) \cdot m$; (5)

– відносна швидкість кодування: $R = (\alpha - x) / (2\sqrt{q} + q + 1 - x).$ (6)

Твердження 4 [2]. Укорочений еліптичний (n, k, d) код над $GF(2^m)$, побудований через відображення виду $\varphi: X \rightarrow P^{r-1}$, визначає модифіковану теоретико-кодову схему з параметрами:

– розмірність секретного ключа визначається виразом (3);

– розмірність інформаційного вектору (в бітах):

$$1_I = (2\sqrt{q} + q + 1 - x) \cdot m ; \quad (7)$$

– розмірність криптограми визначається виразом (5);

– відносна швидкість передачі: $R = (2\sqrt{q} + q + 1 - \alpha) / (2\sqrt{q} + q + 1 - x).$ (8)

Другий спосіб модифікації лінійного блокового коду, який зберігає мінімальну кодову відстань і збільшує кількість переданих даних, полягає в подовженні його довжини після формування вектору ініціалізації, шляхом

скорочення інформаційних символів. Математичний апарат модифікованої крипто-кодової конструкції на основі схеми Мак-Еліса наведений у роботах [2].

Твердження 5 [2]. Подовжений еліптичний (n, k, d) код над $GF(2^m)$, побудований через відображення виду $\varphi:(X \cup h_1) \rightarrow P^{k-1}$, визначає МНККК з параметрами:

– розмірність секретного ключа (в бітах):

$$l_{k+} = (x - x_1) \cdot \left\lceil \log_2 (2\sqrt{q} + q + 1) \right\rceil; \quad (9)$$

– розмірність інформаційного вектору (в бітах): $l_I = (\alpha - x + x_1) \cdot m$; (10)

– розмірність криптограми (в бітах): $l_S = (2\sqrt{q} + q + 1 - x + x_1) \cdot m$; (11)

– відносна швидкість передачі:

$$R = (\alpha - x + x_1) / (2\sqrt{q} + q + 1 - x + x_1) \quad (12)$$

Проведений аналіз в [2] свідчить, що використання модифікованих (укорочених / подовжених) МЕС дозволяє зменшити енергетичну ємність програмної реалізації МНККК Мак-Еліса практично в 2 рази, але при цьому забезпечити необхідний рівень криптостійкості при реалізації над меншим полем $GF(2^6 - 2^8)$.

Для забезпечення основних послуг безпеки інформації в умовах зростання загроз інформаційній безпеці (ІБ), кібербезпеці (КБ), безпеці інформації (БІ) в роботах [1, 2] пропонується використовувати гібридні крипто-кодові конструкції, що засновані на синтезі МККК Мак-Еліса і Нідеррайтера на МЕС та збиткових кодах багатоканальної криптографії.

Під збитковим текстом розуміється текст, отриманий у результаті подальшої деформації ненадлишкових кодів букв [2].

Теоретичною основою побудови збиткових текстів є порушення впорядкованості символів вихідного тексту і як наслідок зниження надмірності символів мови в збитковому тексті. При цьому кількість інформації, що виражає цю впорядкованість, дорівнюватиме зменшенню ентропії тексту в порівнянні з максимально можливою величиною ентропії, тобто рівноймовірній появі будь-якої літери після будь-якої попередньої літери. Методи обчислення інформації, запропоновані в роботі [26], дозволяють виявити співвідношення кількості передбаченої (тобто сформованої за певними правилами) інформації і кількості тієї несподіваної інформації, яку не можна заздалегідь передбачити. Надлишковість тексту визначається за виразом [1, 2]:

$$B(M) = B_A L_0 = \left(\log N - \frac{H(M)}{L_0} \right) \cdot L_0, \quad (13)$$

де M – початковий текст; B – надлишковість мови ($B = R - r$, R – надлишковість мови ($R = \log N$), N – потужність алфавіту, r – ентропія мови на один символ, $r = H(M) / L$, L – довжина повідомлення M в символах мови); $H(M)$ – ентропія (невизначеність) повідомлення; L_0 – довжина повідомлення в M символах мови зі змістом; B_A – надлишковість мови.

Для отримання збиткового тексту (FTC) і збитків (DCH) використовується метод “ідеального” стиснення після виконання m циклів механізму завдання збитку C_m [1, 2].

Кількісною мірою ефективності нанесення збитку є ступінь зміни сенсу, що дорівнює різниці ентропій збиткового тексту і вихідного тексту на різних відрізках довжини збиткового тексту:

$$d = H(\text{FTC}) - \sum_{i=1}^s H(M_i) p_i, \quad \sum_{i=1}^s p_i = 1, \quad s = \left\lceil \frac{L_0 - L_{\text{FTC}}}{L_{\text{FTC}}} \right\rceil \quad (14)$$

де M_i – частина вихідного тексту, що відповідає i -му відрізку, p_i – її ймовірність, L_0 – довжина M_i , що дорівнює довжині L_{FTC} – збиткового тексту, s – кількість відрізків.

На рис. 2 наведена структурна схема одного кроку універсального механізму заподіяння збитку.

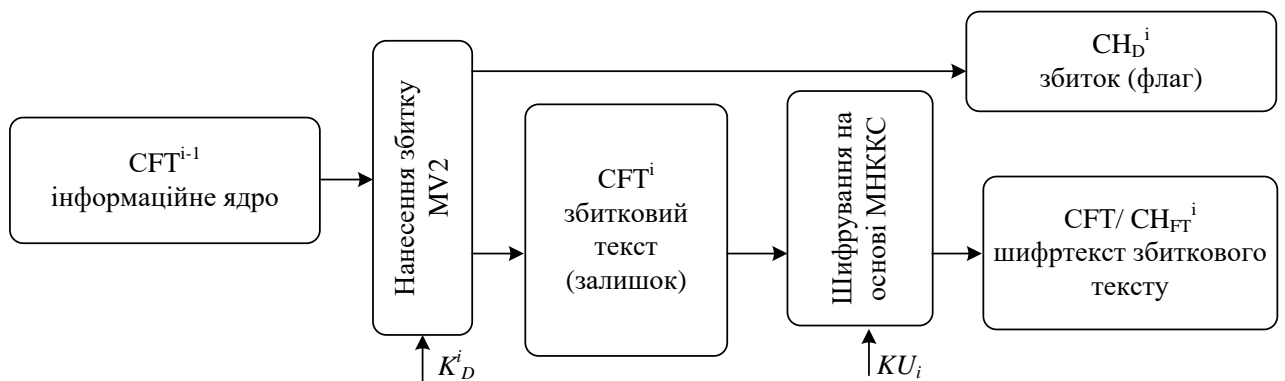


Рис. 2. Структурна схема одного кроку універсального механізму заподіяння збитку

Під інформаційним ядром деякого тексту розуміється збитковий текст SFT , отриманий у результаті циклічного перетворення універсального механізму заподіяння збитку C_m .

Універсальний механізм нанесення збитку C_m може бути описаний [2]:

$$\begin{aligned}
CFT / CH_{FT} &= E_1(M, KU^{EC}), & CFT / CH_{FT} &= CFT / CH_{FT}^i, \dots, CFT / CH_{FT}^m, \\
CHD / CH_D &= E_2(M, KU^{EC}), & \text{де } KU^{EC} &= \varphi(K_D^i, \dots, K_D^m, KU_1^{EC}, \dots, KU_m^{EC}), \\
M &= E_{1,2}^{-1}(CFT / CH_{FT}, CHD / CH_D, KU^{EC}), & CHD / CH_D &= CHD / CH_D^i, \dots, CHD / CH_D^m
\end{aligned}$$

Основні способи нанесення збитку наведені на рис. 3, 4 наведені основні протоколи забезпечення послуг безпеки на основі використання збиткових кодів.



Рис. 3. Основні способи нанесення збитку

Відстань єдності для моделі випадкового шифру для якого існує ймовірність отримати осмислений текст при випадковому і рівномірному

виборі ключа K та спробі дешифрування при $N_s = H(K) \frac{2^{HL}}{|I|^L} = 1$ дорівнює:

$$L = U_0 = \frac{H(K)}{\log |I| - H} = \frac{H(K)}{B \log |I|}, \quad (15)$$

де B – надлишковість вихідного тексту; H – ентропія на букву осмисленого тексту у вхідному алфавіті I , $|I| > 2$, 2^{HL} – наближене значення кількості осмислених текстів.

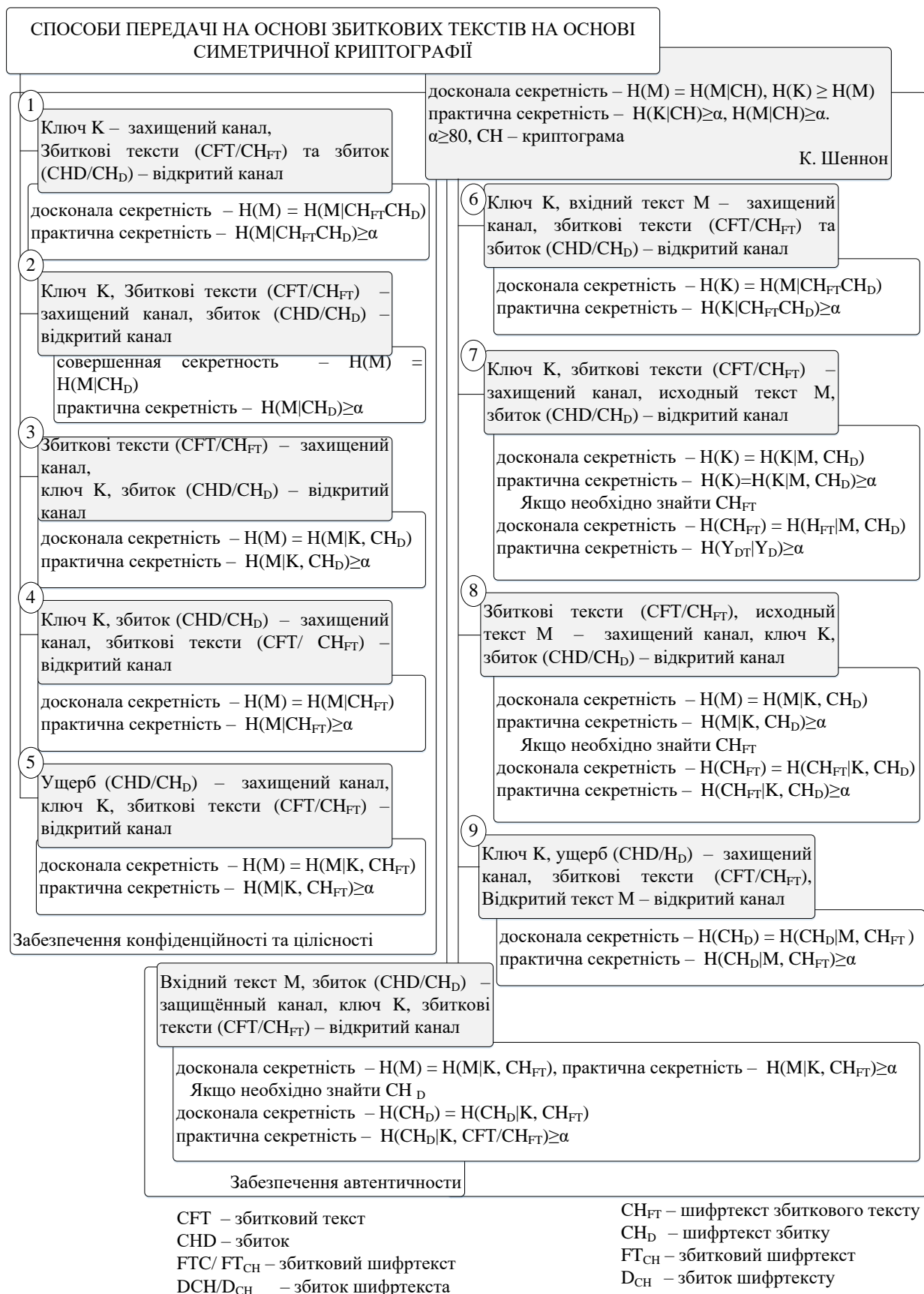


Рис. 4. Основні протоколи забезпечення послуг безпеки

Проведений аналіз сучасних досліджень показав, що гібридні крипто-кодові конструкції забезпечують можливість їх практичної реалізації, при суттєвому зменшенні потужності поля. Таким чином забезпечується її конкурентоспроможність і можливість розгляду як альтернативи для класичних алгоритмів несиметричної криптографії.

Проведений аналіз способів нанесення збитку в роботах [1–3] показав, що для використання в Інтернет-протоколах найбільш підходящими є перший та другий способи нанесення збитку з подальшим криптоперетворенням, що дозволяє знизити потужність алфавіту при формуванні криптограми в МККК Мак-Еліса та Нідеррайтера. Структурні схеми наведені на рис. 5, 6 відповідно.

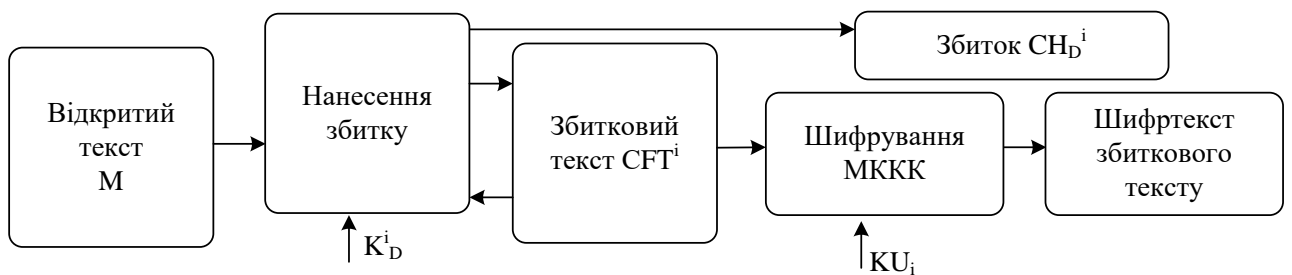


Рис. 5. Структурна схема побудови гібридної крипто-кодової системи на основі нанесення шкоди відкритому тексту

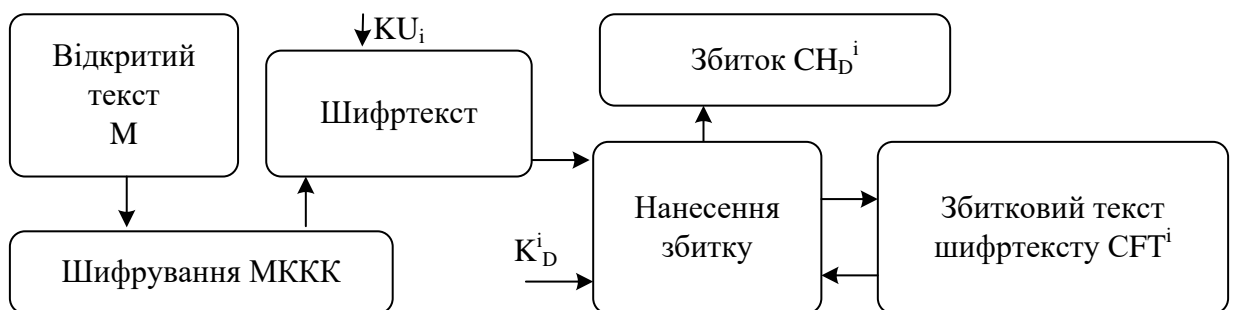


Рис. 6. Структурна схема побудови гібридної криптосистеми на основі нанесення шкоди шифр тексту

Відстань єдності для першого способу (вираз 15) буде трансформовано:

$$U_0 = \frac{\sum_{i=1}^m \left(H(CHD^{(i)}) \right) + H(KU_i^{EC})}{B \log |I|}. \quad (16)$$

Така система базується на непоправності спотворення збитку і забезпеченні стійкості за рахунок використання в подальшому шифрування на основі МНККС. Це призводить до неможливості дізнатися шифртекст збиткового тексту. Відстань єдності для другого способу (вираз 15) буде трансформовано:

$$U_0 = \frac{H\left(KU_i^{EC} + H(FTC/FT_{CH}) + H(DCH/D_{CH}) + \sum_{i=1}^m \left(H(CHD^{(i)})\right) + H\left(KU_i^{EC}\right)\right)}{B \log |I|} \quad (17)$$

Другий варіант дозволяє збільшити відстань єдності порівняно з першим способом.

Для оцінки зниження енерговитрат на практичну реалізацію криптокодових конструкцій в роботі [2] наведені результати оцінки складності формування криптограми та її розкодування при використанні ККК Нідеррайтера, оцінки складності злому найбільш ефективним методом декодування (перестановки декодером).

Подальше зменшення потужності поля Галуа призводить до значного зменшення складності формування (\approx в 3 рази) і розкодування (\approx в 5 разів) криптограми, і забезпечує гарантований рівень криптостійкості [1, 2].

Для оцінки часових і швидкісних показників прийнято використовувати одиницю виміру *срб*, де *срб* (*cycles per byte*) – кількість тактів процесора, які необхідно витратити для обробки 1 байту вхідної інформації. Складність алгоритму визначається за формулою:

$$Per = Utl \cdot CPU_clock / Rate \quad (18)$$

де *Utl* – утилізація ядра процесора (%); *Rate* – пропускна здатність алгоритму (байт/с).

У табл. 1 наведені результати досліджень залежності довжини вхідної послідовності на алгоритм MV2 від кількості тактів процесора на виконання елементарних операцій в програмній реалізації.

У табл. 2 наведені результати досліджень оцінки часових і швидкісних показників процедур нанесення і зняття збитку.

Таблиця 1

Результати досліджень залежності довжини вхідної послідовності на алгоритм MV2 від кількості тактів процесора

Довжина кодової послідовності		MV2		
		10	100	1000
Кількість викликів функцій що реалізують елементарні операції	сумування	3942	28673	275499
	різниця	1794	3810	23881
	ділення	3274	4804	20104
	множення	19	109	1009
	порівняння	8939	60963	578784
Сума		17968	98359	899277
Тривалість виконання функцій * в мілісекундах	сумування	19,53	93,58	2297,36
	різниця	8,89	12,43	199,14
	ділення	16,22	15,68	167,65
	множення	0,09	0,36	8,41
	порівняння	44,28	198,96	4826,43
Сума		89	321	7499
Тривалість виконання функцій * в мілісекундах		89	321	7499

Таблиця 2

Результати досліджень часових і швидкісних показників процедур нанесення і зняття збитку

Показники	Довжина кодової послідовності	Час роботи (сек)	Пропускна здатність алгоритму, Rate (байт/сек)	Утилізація ядра процесора (ticks)	складність алгоритму, Per (spb)
Кількість викликів функцій, що реалізують елементарні операції	10	0,089	112,3596	90	0,801
	100	0,321	311,5265	322	1,034
	1000	7,499	133,3511	7500	66,166

Таким чином, проведений аналіз основних принципів побудови МККК Мак-Еліса (Нідеррайтера) і систем багатоканальної криптографії на збиткових кодах дозволяє формувати гібридні криптосистеми. Відмінністю ГККК на схемах Мак-Еліса або Нідеррайтера від “класичного” підходу формування

гібридної (комплексної) криптосистеми є використання несиметричних крипто-кодових конструкцій зі швидкими алгоритмами криптоперетворень в якості основного механізму забезпечення стійкості (безпеки) інформації з подальшим використанням алгоритму MV2 (багатоканальної системи на збиткових кодах), що забезпечує зниження енергетичних витрат (потужності алфавіту МККК на МЕС).

В роботах [1–3] запропоновані алгоритми гібридної крипто-кової системи Мак-Еліса на МЕС які дозволяють у разі приховування збиткового шифртекста C_{FT} / CH_{FT} всі його можливі значення визначити додатковим ключовим полем:

$$U_0 = \frac{H(C_{FT} / CH_{FT}) + \sum_{i=1}^m \left(H(CHD^{(i)}) \right) + H(KU_i^{EC})}{B \log |I|}, \quad (19)$$

У разі додаткового приховування останнього шифртекста збитку CHD / CH_D зважаючи на його малість і сумірність з шифртекстом збиткового тексту C_{FT} / CH_{FT} відстань єдності можна бути додатково збільшити:

$$U_0 = \frac{H(CHD / CH_D) + H(C_{FT} / CH_{FT}) + \sum_{i=1}^m \left(H(CHD^{(i)}) \right) + H(KU_i^{EC})}{B \log |I|}. \quad (20)$$

Таким чином, багатоканальна криптографія на основі збиткових кодів дозволяє здійснювати комплексування криптографічних систем, об'єднуючи під однією концепцією крипто-кодові конструкції (МККК Мак-Еліса та Нідеррайтера на МЕС) і системи на збиткових кодах, які доповнюючи один одного, забезпечують необхідні показники безпеки і надійності, і збагачують сумарну систему своїми властивостями. Крім того такий підхід забезпечує протидію атаці В. Сідельникова на основі дрібно-лінійних перетворень [3].

В роботах [1, 2] розглянуто формальний опис математичної моделі МККК Мак-Еліса на модифікованих еліптичних кодах. Основною відмінністю математичних моделей є формування криптограми на основі укорочення або подовження, а також способу нанесення збитку. Основною відмінністю подовжених кодів є використання положень символів скорочення в МККК Мак-Еліса, з подальшою їх заміною на інформаційні символи відкритої інформації. На рис. 7 та 8 наведені структурні схеми протоколів на основі ГККК Мак-Еліса з модифікованими (укороченими/ подовженими) еліптичними кодами за другим способом нанесення збитку.

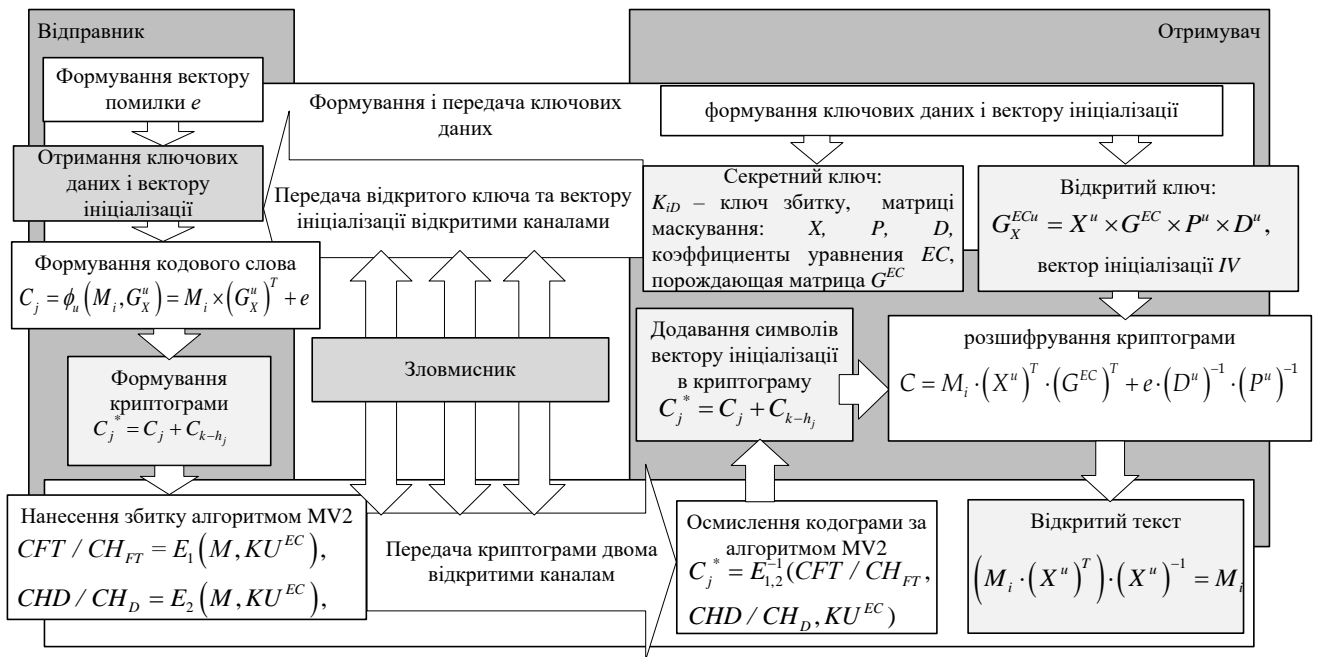


Рис. 7. Протокол обміну за допомогою ГККК Мак-Еліса на укорочених МЕС

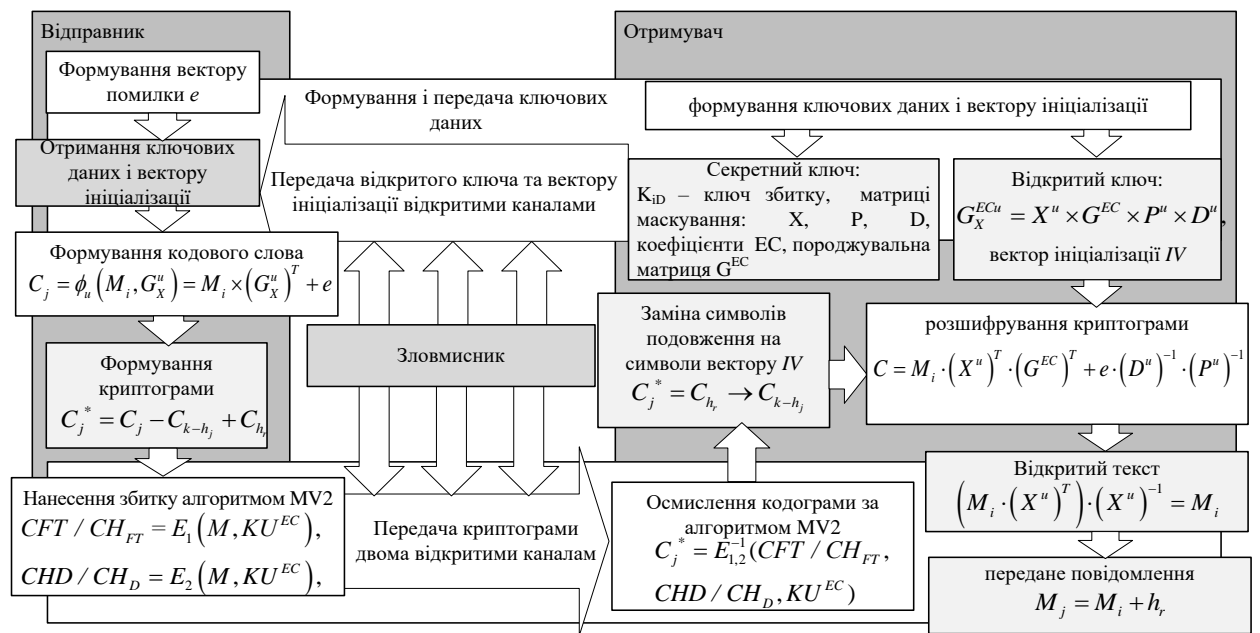


Рис. 8. Протокол обміну за допомогою ГККК Мак-Еліса на подовжених МЕС

В роботі [3] наведений формальний опис математичної моделі гібридної МККК Нідеррайтера. Аналіз практичної реалізації алгоритмів шифрування / розшифрування в ГККК Нідеррайтера показує, що при формуванні криптограми (синдрому) після формування вектору помилки алгоритмом рівноважного кодування, вектор ініціалізації, який визначає скорочення символів вектору помилки $-h_e$ (символи вектору помилки, що дорівнюють

нулю), $|h|=1/2e$, тобто $e_i = 0, \forall e_i \in h$, шифрується алгоритмом MV2 і передається двома незалежними відкритими каналами.

При розшифруванні криптограми (після отримання вектору помилки, перед використанням алгоритму рівноважного кодування) для отримання інформації вводяться “нульові” символи укорочення.

Алгоритм формування криптограми в модифікованій ГККК Нідеррайтера представимо у вигляді послідовності кроків:

Крок 1. Введення інформації, яка підлягає кодуванню.

Введення відкритого ключа H_X^{EC} .

Крок 2. Формування вектору помилки e , вага якого не перевищує t – виправляє здатність еліптичного коду на основі алгоритму недвійковий рівноважного кодування.

Крок 3. Формування вектору ініціалізації IV_1 , IV_1 – де множина зафіксованих відкритих текстів, які не придатні для подальшого формування криптограми.

Крок 4. Формування укороченого вектору помилки: $e_x = e(A) - IV_2$, де IV_2 – елементи скорочення (h_e – символи вектора помилки, які дорівнюють нулю, $|h|=1/2e$, тоб то $e_i=0, \forall e_i \in h$).

Крок 5. Формування кодограми:

$$S_{r-h_e}^* = (e_n - h_e) \cdot H_X^{EC^T}. \quad (21)$$

Крок 6. Формування збиткового тексту CFT і збитку CHD.

Алгоритм розкодування криптограми в модифікованій ККК Нідеррайтера представимо у вигляді послідовності кроків:

Крок 1. Введення збиткового тексту CFT, що розкодується. Введення закритого ключа – матриць X, P, D . Введення збитку CHD.

Крок 2. Отримання довжини залишків і розбиття збиткового тексту.

Крок 3. Отримання символів S_{X_i} криптограми та формування повної криптограми:

$$S_X = S_{X_1} || S_{X_2} || \dots || S_{X_n}. \quad (22)$$

Крок 4. Знаходження одного з можливих рішень рівняння:

$$S_{r-h_e}^* = \bar{c}^* \cdot (H_X^{EC})^T. \quad (23)$$

Крок 5. Зняття дії діагональної і переставної матриць:

$$\bar{c}^* = c_X^* \cdot D^{-1} \cdot P^{-1}. \quad (24)$$

Крок 6. Розкодування вектору \bar{c}^* . Формування вектору e_x' .

Крок 7. Перетворення вектору e_x'

$$e_x = e_x' \cdot P \cdot D. \quad (25)$$

Крок 8. Формування шуканого вектору помилки e : $e = e_x + IV_2$.

Крок 9. Перетворення вектору e на основі використання недвійкового рівноважного коду в інформаційну послідовність.

В роботах [1, 2] проведені порівняння оцінювання параметрів МКККС Мак-Еліса на МЕС з ГККК з використанням модифікованих еліптичних кодів. Результати досліджень практичної реалізації МККК на МЕС підтверджують, що кількість групових операцій зменшена в 4,5 рази за рахунок побудови над $GF(2^6-2^4)$.

У табл. 3 наведено результати досліджень ємнісних характеристик при програмній реалізації від потужності поля ГККК схеми Мак-Еліса на МЕС.

Таблиця 3

Залежність швидкості програмної реалізації від потужності поля (кількість групових операцій)

Криптоалгоритми	потужність $GF(2^m)$						
	2^4	2^5	2^6	2^7	2^8	2^9	2^{10}
MacElis на укорочених МЕС	8293075	10007947	17787431	28595014	44079433	61974253	79554764
MacElis на подовжених МЕС	8506422	11156138	18561228	33210708	48297112	65171690	84051337
ГККК на подовжених МЕС	5612316	7900315	14892945	25565274	42279183	58963778	76564173
ГККК на укорочених МЕС	5942627	7905257	14682411	25595014	42116327	58468143	75474764

Крім цього використання ЕС (МЕС) побудованих на плоских кривих 3-го роду забезпечує формування породжувальної або перевіркової матриць через знаходження значення генераторних функцій у точках кривої. Це дозволяє зменшити можливість використання атаки В. Сідельникова.

Для проведення статистичних досліджень стійкості досліджуваних криптосистем скористаємося пакетом NIST STS 822 [2]. Результати досліджень наведені в табл. 4. Наведені в табл. 4 показники показали, що не зважаючи на зменшення потужності поля Галуа до $GF(2^6)$ для МНККС і $GF(2^4)$ для ГККК відповідно, статистичні характеристики таких крипто-кодових конструкцій виявилися, як мінімум, не гірше традиційних НККС Мак-Еліса на $GF(2^{10})$. Всі криптосистеми пройшли 100% тестів, причому найкращий результат показала ГКККЗК на укорочених МЕС: 155 з 189 тестів пройдено на рівні 0,99, що становить 82% від усієї кількості тестів. При цьому традиційна НККС Мак-Еліса на $GF(2^{10})$ показала 149 тестів на рівні 0,99.

Таблиця 4

Результати досліджень статистичної безпеки

Криптосистеми	Кількість тестів, в яких тестування пройшли більше 99% послідовностей	Кількість тестів, в яких тестування пройшли більше 96% послідовностей	Кількість тестів, в яких тестування пройшли менше 96% послідовностей
НККС MacElis	149 (78,83%)	189 (100%)	0 (0%)
МНККС MacElis на укорочених МЕС	151 (79,89%)	189 (100%)	0 (0%)
МНККС MacElis на подовжених МЕС	152 (80,42%)	189 (100%)	0 (0%)
ГКККЗК на подовжених МЕС	153 (80,95%)	189 (100%)	0 (0%)
ГКККЗК на укорочених МЕС	155 (82 %)	189 (100%)	0 (0%)

Висновки. Проведений аналіз побудови крипто-кодових конструкцій на модифікованих еліптичних кодах і синтез з процедурами нанесення збитку багатоканальної криптографії дозволяють будувати комплексні (гібридні) криптосистеми які забезпечують основні послуги безпеки даних в умовах гібридних загроз постквантової криптографії. Запропоновані ГККК забезпечують безпеку інформаційних ресурсів (безпечний час – $T_B > 200$ р., стійкість до криптоаналізу $P_K < 10^{25} - 10^{35}$ групових операцій), достовірність передачі даних

($P_{\text{пом}} < 10^{-9}$) та зменшення енергетичних витрат на їх практичну реалізацію в 10 – 12 разів (шифрування, розшифрування) за рахунок зменшення порядку GF(q).

Використання алгеброгеометричних кодів (кодів на еліптичних кривих) і їх модифікацій усуває можливість реалізації атаки В. Сідельникова (знаходження перевіркової матриці перешкодостійкого коду), що істотно підсилює криптостійкість системи в умовах постквантової криптографії. Впровадження запропонованих криптосистем дозволяє підвищити рівень захищеності інформаційних ресурсів в Інтернет-протоколах та створити конкурентоспроможні умови альтернативного використання в умовах постквантової криптографії.

ЛІТЕРАТУРА

1. S. Yevseiev, H. Kots, S. Minukhin, O. Korol, and A. Kholodkova, “The development of the method of multifactor authentication based on hybrid crypto-code constructions on defective codes”, *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, 5/9(89), pp. 19–35, 2017.

2. S. Yevseiev, “The Use of Damage Codes in Crypto-Code Systems”, *Information Systems*, № 5 (151), pp. 109–121, 2017.

3. С. Євсєєв, та О. Тиханенко, “Розробка несиметричної криптокодової конструкції Нідеррайтера на модифікованих еліптичних кодах”, *Системи обробки інформації*, № 2 (153), с. 127–135, 2018.

1.2. Побудова цифрового водяного знаку на основі узагальненого перетворення Фур'є

Вступ і постановка задачі. Теорія спеціальних функцій донедавна була розділом теоретичної та математичної фізики. Ця особливість є відображенням факту, що спеціальні функції, зазвичай, виникають як розв'язки різноманітних диференціальних рівнянь. Їх застосування зумовлює побудову розв'язку диференціальних рівнянь у аналітичному вигляді. Розв'язки у аналітичному вигляді завжди мають переваги над представленнями, що знаходяться числовими методами, в першу чергу за точністю обчислень, а також за компактністю викладу.

Сучасний розвиток інформаційних технологій привів до значно ширшого практичного використання спеціальних функцій у нових галузях науки та техніки, зокрема, у задачах захисту даних. Яскравим прикладом нового сучасного застосування функцій є створення криптовалюти із застосуванням геш-функцій. Причому геш-функції є звичайними функціями, що за своїм математичним описом значно простіші, ніж спеціальні функції, які є розв'язками диференціальних рівнянь. Тому цілком закономірно, що у задачах захисту даних почали широко використовуватись спеціальні функції. Застосування спеціальних функцій дозволяє розробляти недорогі та надійні технології захисту даних, що сприяє підвищенню ефективності методів захисту.

У даній роботі розроблено метод побудови цифрового водяного знаку для одновимірних та двовимірних масивів даних з метою їх захисту та ідентифікації. Для побудови використано Ateb-функції, що є спеціальними функціями, які виникають як аналітичні розв'язки диференціального рівняння коливного руху з одним ступенем вільності.

У роботі [1] описано методи побудови стійких цифрових водяних знаків (ЦВЗ) для захисту зображень, зокрема на основі перетворення Фур'є. Цифрові водяні знаки належать до технології приховування інформації з метою захисту. Крім ЦВЗ до цієї технології належить також стеганографія. ЦВЗ поділяються на видимі та невидимі. Розроблений ЦВЗ на основі Ateb-перетворення є невидимим, причому вбудовування реалізується у частотній області. У роботі [1] також показано, що метою застосування технології цифрових водяних знаків є контроль над інтелектуальною власністю даних, ідентифікація даних та обмеження для передавання даних у комп'ютерних мережах. Застосування Ateb-функцій у задачах захисту зображень розглянуто у роботі [3]. У праці [4]

представлено методи захисту даних на матеріальних носіях з використанням спеціальних функцій.

Основна частина

Розглядається задача побудови ЦВЗ на основі узагальнення перетворення Фур'є у вигляді Ateb-перетворення з метою захисту та ідентифікації електронних даних у мережі Інтернет. Для задання Ateb-перетворення розглянемо означення Ateb-функцій. У [3] подано детально властивості цих функцій, тому наведемо тільки найнеобхідніші означення для розуміння подальшого викладу.

Оскільки виклад стосується спеціальних функцій, то відомо що неповна Beta-функція визначається рівністю [5]:

$$B_x(p, q) = \int_0^x t^{p-1} (1-t)^{q-1} dt, \quad (1)$$

де p і q дійсні числа.

У частковому випадку, якщо $x=1$, формула (1) приймає вигляд інтеграла Ейлера першого роду

$$B_1(p, q) = \int_0^1 t^{p-1} (1-t)^{q-1} dt, \quad (2)$$

тобто повної Beta-функції.

Для всіх x з інтервалу $[0, 1]$ функції $B_x(p, q)$ і $B_1(p, q)$, задані формулами (1) та (2), є додатними і задовольняють умовам:

$$\begin{aligned} 0 &\leq B_x(p, q) \leq B_1(p, q), \\ B_x(p, q) &= B_1(p, q) - B_{1-x}(p, q). \end{aligned}$$

Розглянемо можливі значення для параметрів $p>0$, $q>0$, а саме

$$p = \frac{1}{n+1}, q = \frac{1}{m+1}; \quad (3)$$

де m і n визначаються формулами

$$n = \frac{2\theta_1' + 1}{2\theta_1'' + 1}, m = \frac{2\theta_2' + 1}{2\theta_2'' + 1}, (\theta_1', \theta_1'', \theta_2', \theta_2'' = 0, 1, 2, \dots). \quad (4)$$

Якщо $p>0$, $q>0$, то Beta-функція є визначеною і неперервною, а для інших дійсних значень p і q вона прямує до нескінченості при $t \rightarrow 0$ або при $t \rightarrow 1$. Математичне означення Ateb-функції визначає її як обернену до Beta-функції. Тому була запропонована назва функцій Ateb як інверсія слова Beta.

Уведемо у розгляд вираз

$$\omega = \frac{1}{2} \int_0^{-1 \leq y \leq 1} t^{-\frac{n}{n+1}} (1-t)^{-\frac{m}{m+1}} dt \quad (5)$$

де m, n визначені співвідношенням (5) і (4). Заміною змінних виду

$$t = v^{-n+1}, \quad (6)$$

(5) перетворюється у вигляд

$$\omega = \frac{n+1}{2} \int_0^{-1 \leq v \leq 1} (1-v^{-n+1})^{-\frac{m}{m+1}} d\bar{v}. \quad (7)$$

У формулі (7) ω є функцією від v , а також від m і n . Для побудови *Ateb*-функцій розглядаємо обернену залежність v від ω , що є функцією m та n , і має назву *Ateb*-синус та позначається

$$v = sa(n, m, \omega) \quad (8)$$

Аналогічно, заміною змінних

$$t = 1 - u^{-m+1},$$

з формули (1) отримуємо співвідношення

$$-\frac{m+1}{2} \int_1^{-1 \leq u \leq 1} (1-u^{-m+1})^{-\frac{n}{n+1}} d\bar{u} = \omega \quad (9)$$

Залежність u від ω для інтегралу (9) є функцією m і n та має назву *Ateb*-косинус і позначається

$$u = ca(m, n, \omega). \quad (10)$$

У монографії [3] виведено основне співвідношення для періодичних *Ateb*-функцій

$$ca^{m+1}(m, n, \omega) + sa^{n+1}(n, m, \omega) = 1. \quad (11)$$

Ateb-функції побудовані для значень параметрів (4) є періодичними *Ateb*-функціями. На основі цих функцій побудовано аналітичні розв'язки системи звичайних диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} \dot{x} + \beta y^m = 0, \\ \dot{y} + \alpha x^n = 0, \end{cases} \quad (12)$$

де α, β – деякі дійсні сталі.

Якщо m та n задовольняє співвідношення (4), то система (12) описує коливальний рух з одним ступенем вільності.

Зі співвідношень (7) і (9) очевидно: якщо $n=m=1$, то отримуємо $u = \cos \omega$, $v = \sin \omega$. Ця властивість є основою для розробки даного дослідження. Оскільки *Ateb*-функції є узагальненням звичайних тригонометричних функцій, то можна побудувати узагальнення перетворення Фурє на основі цих функцій.

У моделювання та розробленні систем перетворення та захисту інформації широко застосовують методи, що ґрунтуються на математичному апараті ортогональних тригонометричних перетворень (ОТП) [2]. Запропоновано метод ортогональних перетворень, який оснований на періодичних *Ateb*-функціях. Надалі будемо називати його ортогональним *Ateb*-перетворенням (ОАП). Можливість побудувати ОАП ґрунтується на таких положеннях. По-перше, у роботах [3,4] показано, що *Ateb*-функції є узагальненим випадком звичайних тригонометричних функцій. По-друге, у праці [2] доведено ортонормованість системи періодичних *Ateb*-функцій. У роботах [3,4] розроблено методи та алгоритми для обчислення *Ateb*-функцій залежно від параметрів, що дає змогу успішно використовувати запропонований метод ОАП.

Введемо у розгляд узагальнення перетворення Фур'є, що базуються на періодичних *Ateb*-функціях.

Побудова ортогональних *Ateb*-перетворень

У даному параграфі будуть побудовані неперервне одновимірне пряме та обернене *Ateb*-перетворення, спочатку з одним параметром, а потім з двома параметрами.

Ортогональне *Ateb*-перетворення з одним параметром

Введемо у розгляд функції *Ateb*-синусу та косинусу у вигляді $sa(n,1,t)$ та $ca(1,n,t)$. Нехай $x(t)$ дійсна функція, тоді *Ateb*-перетворення запишемо у вигляді

$$X(n, \omega) = A(n, \omega) - iB(n, \omega), \quad (13)$$

де

$$A(n, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot ca(1, n, \omega t) dt, \quad (14)$$

$$B(n, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot sa(n, 1, \omega t) dt. \quad (15)$$

Враховуючи парність та непарність *Ateb*-функцій [3], запишемо обернене *Ateb*-перетворення у вигляді

$$x(t) = \frac{1}{2\Pi} \int_{-\infty}^{\infty} (A(n, \omega)ca(1, n, \omega t) - B(n, \omega)sa(n, 1, \omega t)) d\omega, \quad (16)$$

де Π – напівперіод *Ateb*-функцій. Права частина формули (16) залежить від параметра n . Для кожного значення n розклад функції $x(t)$ буде різним.

Характер, тобто швидкість зростання чи спадання, період *Ateb*-функцій $ca(1, n, \omega t)$ та $sa(n, 1, \omega t)$ буде змінюватися залежно від значення n . Залежність *Ateb*-функції від параметра n дає можливість підібрати відповідний до $x(t)$

вигляд $ca(1, n, \omega t)$ та $sa(n, 1, \omega t)$, що відповідає завданням побудови елементів захисту.

Введемо у розгляд функцію Хартлі $csa(1, n, t)$ виразом:

$$csa(1, n, t) = ca(1, n, t) + sa(n, 1, t). \quad (17)$$

Також введемо пряме та обернене *Ateb*-перетворення Хартлі, за формулами:

$$H(n, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) csa(1, n, \omega t) dt, \quad (18)$$

$$x(t) = \frac{1}{\Pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(n, \omega) csa(1, n, \omega t) d\omega. \quad (19)$$

У випадку $n = 1$ введені формулами (13)-(16), (18), (19) *Ateb*-перетворення будуть відомими ортогональними перетвореннями Фур'є та Хартлі. Для існування *Ateb*-перетворення функції $x(t)$ достатньо виконання тих самих умов, які є достатніми для існування ортогонального перетворення Фур'є.

Ортогональне *Ateb*-перетворення з двома параметрами

Нехай $x(t)$ є дійсна функція, тоді аналог відомого перетворення Фур'є *Ateb*-перетворення побудуємо у вигляді

$$X(m, n, \omega) = A(m, n, \omega) - iB(n, m, \omega), \quad (20)$$

де

$$A(m, n, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot ca^m(m, n, \omega t) dt, \quad (21)$$

$$B(n, m, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot sa^n(n, m, \omega t) dt. \quad (22)$$

де $ca(m, n, \bar{\omega})$ – функція *Ateb*-косинусу, $sa(m, n, \bar{\omega})$ – функція *Ateb*-синусу. Враховуючи основну тотожність для *Ateb*-функцій (11), отримаємо вираз для оберненого перетворення

$$x(m, n, t) = \frac{1}{\Pi} \int_{-\infty}^{\infty} \{A(m, n, \omega) ca(m, n, \omega t) + B(n, m, \omega) sa(n, m, \omega t)\} d\omega, \quad (23)$$

де $\Pi(m, n)$ – напівперіод *Ateb*-функцій. Введемо у розгляд

$$casa(m, n, t) = ca^m(m, n, t) + sa^n(n, m, t) \quad (24)$$

Тоді пряме та обернене *Ateb*-перетворення Хартлі запишеться формулами

$$H(m, n, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) casa(m, n, \omega t) dt \quad (25)$$

$$x(m, n, t) = \frac{1}{2\Pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(n, \omega) casa(m, n, \omega t) d\omega. \quad (26)$$

У випадку $n=1, m=1$ введені формулами (21)-(23), (25), (26) *Ateb*-перетворення будуть відомими ортогональними перетвореннями Фур'є та Хартлі. Доведемо справедливості таких властивостей для введених перетворень: лінійність, симетрія, подібність, зсув, модуляція, згортка, що аналогічні властивостям звичайних перетворень Фур'є та Хартлі.

Властивості ортогональних *Ateb*-перетворень з одним параметром

Виведемо деякі властивості ортогональних *Ateb*-перетворень.

1. Властивість лінійності. Нехай функція $x(t)$ є лінійною комбінацією двох інших функцій: $x(t) = ax_1(t) + bx_2(t)$. Тоді

$$X(n, \omega) = aX_1(n, \omega) + bX_2(n, \omega), \quad (27)$$

де $X(n, \omega)$ є образ функції $x(t)$, а $X_1(n, \omega)$ та $X_2(n, \omega)$ – образи функцій $x_1(t)$, $x_2(t)$, відповідно побудовані згідно з формулою (13). Доведення впливає безпосередньо з лінійності інтеграла.

Аналогічна властивість справедлива для *Ateb*-перетворення Хартлі

$$H(n, \omega) = aH_1(n, \omega) + bH_2(n, \omega), \quad (28)$$

де $H(n, \omega)$ – образ функції $x(t)$, а $H_1(n, \omega)$ та $H_2(n, \omega)$ образи функцій $x_1(t)$, $x_2(t)$, відповідно за *Ateb*-перетворенням Хартлі, побудовані згідно з формулою (25).

2. Властивість симетрії. Образом функції $x(-t)$ є $X(n, -\omega)$ та $H(n, -\omega)$ відповідно.

Доведення впливає з властивостей парності та непарності *Ateb*-функцій.

3. Властивість подібності. Розглянемо функцію $x(\frac{t}{T})$, тоді образ функції дорівнює $|T| \cdot X(n, T\omega)$. Аналогічна властивість для *Ateb*-перетворення Хартлі образом цієї функції є $|T| \cdot H(n, T\omega)$.

Властивості ортогональних *Ateb*-перетворень з двома параметрами

Розглянемо деякі властивості ортогональних *Ateb*-перетворень з двома параметрами.

1. Властивість лінійності. Нехай функція $x(t)$ є лінійною комбінацією двох інших функцій $x(t) = ax_1(t) + bx_2(t)$. Тоді

$$X(m, n, \omega) = aX_1(m, n, \omega) + bX_2(m, n, \omega), \quad (29)$$

де $X(m, n, \omega)$ – образ функції $x(t)$, а $X_1(m, n, \omega)$ та $X_2(m, n, \omega)$ – образи функцій $x_1(t)$, $x_2(t)$, відповідно побудовані згідно з формулою (20). Доведення впливає безпосередньо з лінійності інтегралу.

Аналогічна властивість справедлива для *Ateb*-перетворення Хартлі

$$H(m, n, \omega) = aH_1(m, n, \omega) + bH_2(m, n, \omega), \quad (30)$$

де $H(n, m, \omega)$ – образ функції $x(t)$, а $H_1(n, m, \omega)$ та $H_2(n, m, \omega)$ – образи функцій $x_1(t)$, $x_2(t)$ за *Ateb*-перетворенням Хартлі, побудовані згідно з формулою (25).

2. Властивість симетрії. Образом функції $x(-t) \in X(n, m, -\omega)$ та $H(n, m, -\omega)$ відповідно.

Доведення випливає з властивостей парності та непарності *Ateb*-функцій.

3. Властивість подібності. Розглянемо функцію $x(\frac{t}{T})$, тоді образ функції дорівнює $|T| \cdot X(n, m, T\omega)$. Аналогічна властивість для *Ateb*-перетворення Хартлі: образом цієї функції є $|T| \cdot H(n, m, T\omega)$.

Побудова цифрового водяного знаку

Необхідність підвищення рівня безпеки передавання інформації пов'язана як з новими методами утворення, зберігання та розповсюдження інформації на паперових носіях так і зі зміною самих матеріальних носіїв, а саме введенням пластикових носіїв інформації, нових видів паперу тощо. Тому підвищення рівня безпеки документів на матеріальних носіях в умовах інформатизації суспільних процесів є актуальною задачею.

Розроблення методів захисту та ідентифікації для підвищення рівня захищеності документів з метою запобігання порушень цілісності та достовірності інформації на матеріальних носіях інформації для забезпечення відповідного рівня безпеки передавання інформації є метою даної роботи.

Поряд з розробкою нових методів захисту необхідно створювати нові методи ідентифікації документів. Для підвищення рівня захищеності друкованих документів за методами графічного захисту та ідентифікації в роботі використано апарат теорії *Ateb*-функцій, зокрема *Ateb*-перетворень. У монографії представлено метод ідентифікації документа на основі вбудовування прихованої інформації. Побудовано новий метод ідентифікації документа на основі значень параметрів m , n *Ateb*-функцій $f(m, n, x)$ та введеного аналогу дискретних ортогональних перетворень. Перевірка на стійкість реалізована шляхом експериментальних досліджень.

Для вбудовування прихованого зображення використовувався адитивний алгоритм з використанням ДАП, заданого формулою (20) з різними значеннями параметрів m та n . Для зчитування зображення застосовувався алгоритм оберненого перетворення (23). Розроблене додане зображення чи повідомлення є невидимим, оскільки зміни проводяться у невеликій кількості елементів, тому запропонований метод належить до методів приховування даних у частотній області.

За допомогою ДАП перетворюємо зображення, а далі застосовуємо наступні чотири способи вбудовування прихованого зображення [1]. Перший спосіб: r найбільших значень змінюємо за формулою для вбудовування прихованого зображення у вигляді:

$$z^{wp} = z^p + \alpha w, \quad (31)$$

де z^{wp} – перетворене зображення, z^p – початкове зображення, w – приховане зображення розміром r , α – коефіцієнт для регулювання величини вбудовування.

Другий спосіб: замість формули (31) застосовуємо наступну формулу:

$$z^{wp} = z^p + e^{\alpha w}, \quad (32)$$

Третій спосіб полягає на застосуванні формули виду

$$z^{wp} = z^p + \alpha z^p w, \quad (33)$$

Для реалізації четвертого способу застосовуємо формулу

$$z^{wp} = z^p + \alpha |z^p| w. \quad (34)$$

Для перевірки ефективності та стійкості запропонованого методу ідентифікації були проведені наступні експерименти для значень параметрів $m = 3, n = \frac{1}{7}$. Тестування проводилось для 10 стандартних зображень з тестової бази USC-SIPI, зокрема для тестових зображень "Лена", "Бабуїн" та інших.

Була проведена наступна серія атак:

- 1) зміна розміру файла: 10%, 25%, 50%, 75%, 150%, 200%;
- 2) поворот: 1°, 5°, 10°, 45°, 90°, 180°;
- 3) стиснення зображення на 10%, 25%, 50%;
- 4) зміна глибини кольору зображення 256→128, 256→64, 256→32, 256→16, 256→8, 256→4, 256→2.

Критерієм присутності прихованого зображення взято кореляцію, що обчислюється за формулою:

$$K = \frac{1}{r-1} \sum_{i=1}^r \frac{(c_i^w - \bar{c}_i^w)(w_i - \bar{w})}{\sigma_c \sigma_w}, \quad (32)$$

де K – кореляційний критерій, r – розмір прихованого зображення, c_i^w – i -й елемент зображення, \bar{c}_i^w – середнє значення елементів зображення, w_i – i -й елемент прихованого зображення, \bar{w} – середнє значення елементів прихованого зображення, σ_c – стандартне відхилення елементів зображення з прихованим зображенням, σ_w – стандартне відхилення елементів прихованого зображення.

Якщо обчислене значення K є більшим за задане певне порогове значення, то вважаємо, що приховане зображення присутнє, а отже документ ідентифіковано.

На рис.1 показано порядок проведення експериментальних досліджень. Результати експериментів ідентифікації присутності цифрового водяного знаку після проведених атак з різними коефіцієнтами величини вбудованого зображення α за формулами (31) – (34) представлені в табл. 1, 2.

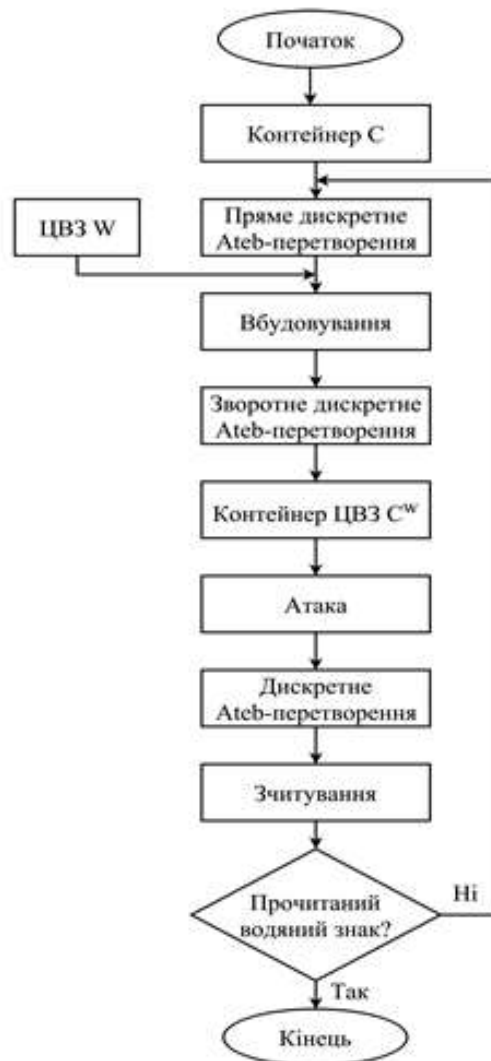


Рис.1. Блок-схема проведення експериментів

Знаком “+” позначено розпізнання вбудованого зображення, а знаком “-” – випадки, коли вбудоване зображення не знайдено. У табл.1 було використано *Ateb*-перетворення з параметрами $m=1, n=7$. У табл.2 представлені результати з параметрами $m=1/3, n=1$. Наведені дані демонструють, що значення параметрів *Ateb*-функцій мало впливають на отримані результати – значення відрізняються не більше 5%. Також отримані значення показують, що найкращі результати

отримано для значень параметра $\alpha=0,2$ та $\alpha=0,5$. У табл. 3 та 4 показано результати розпізнавання наявності цифрового водяного знаку після проведення атак конвертування формату файлу. У цих таблицях використано параметри *Ateb*-перетворення такі ж як у табл.1 та 2, а саме: у табл.3 було

Таблиця 1

Результати експериментів проведених атак для перевірки ефективності методу на прикладі тестового зображення "Лена" за критерієм (32) для параметрів $m=1, n=7$

Вид атаки	Зміна розміру файла, %						Поворот, град						Стиск, %			Зміна глибини кольору зображення						
	10	25	50	75	150	200	1	5	10	45	90	180	10	25	50	128	64	32	16	8	4	2
Без атаки	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Спосіб 1, $\alpha=0,1$	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 1, $\alpha=0,2$	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 1, $\alpha=0,5$	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 1, $\alpha=0,9$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 2, $\alpha=0,1$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 2, $\alpha=0,2$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 2, $\alpha=0,5$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 2, $\alpha=0,9$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 3, $\alpha=0,1$	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 3, $\alpha=0,2$	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 3, $\alpha=0,5$	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 3, $\alpha=0,9$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 4, $\alpha=0,1$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 4, $\alpha=0,2$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 4, $\alpha=0,5$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 4, $\alpha=0,9$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-

використано параметри $m=1, n=7$, а у табл. 2 представлені результати з параметрами $m=1/3, n=1$. Проведені експерименти показали, що запропонований метод є вразливим до конвертування формату tiff у формат jpg та стійким до конвертування формату jpg у формат bmp.

У дослідженні було проведено порівняння розробленого методу з відомим методом побудови цифрового водяного знаку [1] на основі перетворення Фурє. У роботі [1] наведено дані для коефіцієнту вбудовування $\alpha=0,2$. Тому для порівняння з таблиць1-4 використано дані тільки для $\alpha=0,2$. На рис.2 графічно проілюстровано результати з табл.1, а на рис.3 – з табл.3. Для

Таблиця 2

Результати експериментів проведених атак для перевірки ефективності методу на прикладі тестового зображення "Лена" за критерієм (32) для параметрів $m=1/3$, $n=1$

Вид атаки	Зміна розміру файла, %						Поворот, град						Стиск, %			Зміна глибини кольору зображення						
	10	25	50	75	150	200	1	5	10	45	90	180	10	25	50	128	64	32	16	8	4	2
Способи вбудовування																						
Без атаки	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Спосіб 1, $\alpha=0,1$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 1, $\alpha=0,2$	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 1, $\alpha=0,5$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 1, $\alpha=0,9$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 2, $\alpha=0,1$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 2, $\alpha=0,2$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 2, $\alpha=0,5$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 2, $\alpha=0,9$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 3, $\alpha=0,1$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 3, $\alpha=0,2$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 3, $\alpha=0,5$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 3, $\alpha=0,9$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 4, $\alpha=0,1$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 4, $\alpha=0,2$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 4, $\alpha=0,5$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Спосіб 4, $\alpha=0,9$	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-

побудови рис.2 і 3 обчислено відношення кількості позитивно розпізнаного цифрового водяного знаку до загальної кількості експериментів даного виду, результат поданий у процентному співвідношенні. Рис.2 ілюструє стійкість методу в порівнянні з відомим [1] для атак з табл.1. Як видно розроблений метод є значно стійкішим за аналог, а у випадку атаки повороту зображення він стійкий в усіх 100% випадків, на відміну від методу [1], який стійкий тільки в 11% атак повороту.

Рис.3 ілюструє стійкість методу в порівнянні з відомим з [1] для атак з табл.3.

Показано, що розроблений метод є стійкішим у трьох з чотирьох атак конвертування файлів у порівнянні з відомим. Для атаки конвертування файлу

Таблиця 3

Результати експериментів проведених атак типу конвертування формату для перевірки ефективності методу на прикладі тестового зображення "Лена" за критерієм (32) $m=1, n=7$

Вид атаки	Зміна формату файлу			
	Конвертування jpg → tiff	Конвертування jpg → bmp	Конвертування tiff → jpg	Конвертування bmp → jpg
Без атаки	+	+	-	+
Спосіб 1, $\alpha=0,1$	-	+	-	-
Спосіб 1, $\alpha=0,5$	-	+	-	+
Спосіб 1, $\alpha=0,9$	+	+	-	+
Спосіб 2, $\alpha=0,1$	-	+	-	-
Спосіб 2, $\alpha=0,5$	-	+	-	+
Спосіб 2, $\alpha=0,9$	-	+	-	+
Спосіб 3, $\alpha=0,1$	-	+	-	-
Спосіб 3, $\alpha=0,5$	-	+	-	+
Спосіб 3, $\alpha=0,9$	-	+	-	+
Спосіб 4, $\alpha=0,1$	-		-	-
Спосіб 4, $\alpha=0,5$	-	+	-	+
Спосіб 4, $\alpha=0,9$	-	+	-	+

Таблиця 4

Результати експериментів проведених атак типу конвертування формату для перевірки ефективності методу на прикладі тестового зображення "Лена" за критерієм (32) $m=1/3, n=1$

Вид атаки	Зміна формату файлу			
	Конвертування jpg → tiff	Конвертування jpg → bmp	Конвертування tiff → jpg	Конвертування bmp → jpg
Без атаки	+	+	-	+
Спосіб 1, $\alpha=0,1$	-	-	-	-
Спосіб 1, $\alpha=0,5$	-	+	-	+
Спосіб 1, $\alpha=0,9$	+	+	+	+
Спосіб 2, $\alpha=0,1$	-	+	+	-
Спосіб 2, $\alpha=0,5$	-	+	+	-
Спосіб 2, $\alpha=0,9$	-	+	+	-
Спосіб 3, $\alpha=0,1$	-	+	-	-
Спосіб 3, $\alpha=0,5$	-	+	-	-
Спосіб 3, $\alpha=0,9$	-	+	+	-
Спосіб 4, $\alpha=0,1$	-		+	-
Спосіб 4, $\alpha=0,5$	-	+	+	-
Спосіб 4, $\alpha=0,9$	-	+	+	-

jpg у файл bmp метод є стійким у 100% випадків, а метод з [1] тільки у 66% випадків. Проте для атаки конвертування tiff→jpg розроблений метод уразливий у 100% випадків, так само як і метод, розглянутий в [1]. Як видно з проведених експериментів, запропонований метод на основі ДАП є стійким до більшості видів атак. Це доводить ефективність та стійкість запропонованого методу. Метод має ряд переваг перед існуючими за співвідношенням: рівень захищеності – витрати на організацію захисту. Результати експерименту для атаки зміни глибини кольору відображені у табл. 1 та 2. Проведені експерименти показали, що атака виду "зміна глибини кольору зображення" не впливає на ідентифікацію присутності цифрового підпису.

Таким чином, представлені результати експериментальних досліджень застосування опрацьованого методу ідентифікації на основі вбудовування прихованих зображень, що описані в даному дослідженні, є ефективними згідно параметрів стійкості та безпеки. Запропонований метод є новим і належить до методів захисту документів на основі приховування даних у частотній області.

Подальші дослідження можуть бути розвинуті в таких напрямках:

- застосування представленого перетворення Хартлі до створення цифрового водяного підпису, та апробація його стійкості до атак за розробленою схемою експериментів;

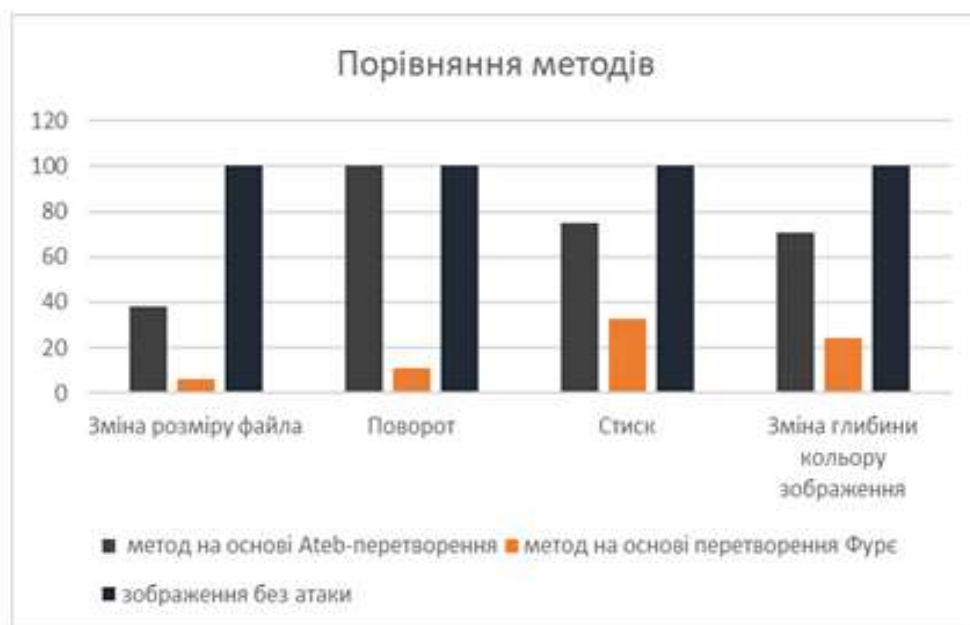


Рис. 2. Порівняння стійкості методів вбудовування цифрового водяного знаку відносно атак

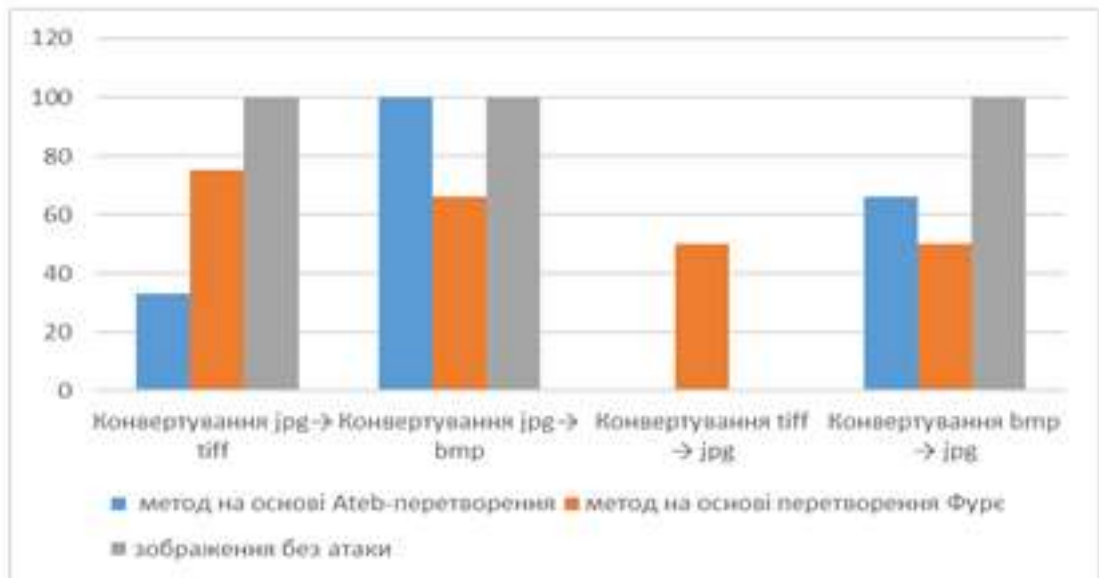


Рис. 3. Порівняння стійкості методів вбудовування цифрового водяного знаку відносно атак конвертування формату

- розробка, застосування та дослідження методу побудови цифрового водяного підпису на основі Ateb-косинусного та Ateb-синусного перетворення;
- дослідження роботи методу побудови цифрового водяного підпису на основі Ateb-перетворення для інших типів зображень, зокрема, для мультиспектральних зображень;
- застосування параметрів Ateb-перетворення для ідентифікації даних на електронних носіях;
- розробка, застосування та дослідження методу побудови цифрового водяного підпису на основі одномірного Ateb-перетворення для звукових файлів.

Висновки

1. Представлені результати експериментальних досліджень застосування опрацьованої схеми вбудовування ЦВЗ, що описані в даному дослідженні, є ефективними згідно параметрів стійкості та безпеки. Запропонований метод є новим і належить до методів приховування даних у частотній області, що забезпечує стійкість алгоритму. Новизна полягає у застосуванні ДАП, що базується на математичному апараті Ateb-функцій.

2. Сфера застосування ЦВЗ досить широка, вона охоплює електронні документи у комп'ютерних мережах. Область використання запропонованого методу стосується передавання інформації у різних організаціях, де необхідною умовою є захист та ідентифікація документів. Запропонований метод перевірявся на файлах зображень, але може бути використаний для захисту

аудіо, відео файлів та електронних текстових документів. Це свідчить про актуальність та практичну значимість запропонованого методу.

3. У роботі розроблено метод побудови цифрового водяного знака на основі узагальненого перетворення Фурє для розв'язання задач захисту даних на матеріальних носіях. Побудова узагальнення базується на використанні *Ateb*-функцій, що узагальнюють звичайні тригонометричні функції. Для побудови перетворення використано властивість ортогональності *Ateb*-функцій.

4. Моделювання атак і оцінку ефективності та стійкості методу проведено на тестових зображеннях. Реалізовано моделювання атак різного виду та проаналізовано отримані результати. У більшості випадків розроблений метод є стійким. Найвразливішою є конвертація деяких файлових форматів.

5. Проведено порівняння розробленого методу з відомим у літературі методом побудови цифрового водяного знаку на основі перетворення Фур'є. Проведені експерименти показали вищу стійкість розробленого методу.

ЛІТЕРАТУРА

1. P. Lipinski, *Odporne cyfrowe znaki wodne w obrazach*, Akademicka oficyna wydawnictwa EXIT, Warszawa, 2013.

2. Б. І. Сокіл, “Нелінійні коливання механічних систем і аналітичні методи їх досліджень”, дис. д-ра наук, Нац. ун-т "Львівська політехніка", Львів, 2001.

3. М. А. Назаркевич, *Методи підвищення ефективності поліграфічного захисту засобами Ateb-функцій*, Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011.

4. І. М. Дронюк, *Технології захисту інформації на матеріальних носіях*, Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2017.

5. М. Абрамовиц, и И. Стиган, *Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами*, М.: Наука, 1979.

1.3. Пропозиції щодо застосування сучасних супутникових технологій для топогеодезичного забезпечення безпілотних літальних апаратів

Вступ і постановка задачі. Під управлінням польотом безпілотних літальних апаратів (БПЛА) зазвичай розуміють увесь комплекс заходів з планування польоту, забезпечення необхідного руху апарату в повітряному просторі, збору вимірювальної інформації, її контролю, моделювання польотних ситуацій, вироблення управляючих команд, ухвалення рішень щодо оперативної корекції планів при виникненні аномальних (нештатних) ситуацій або зміні умов ресурсного забезпечення, обробки й інтерпретації результатів експериментів і досліджень, що виконуються безпосередньо на борту БПЛА або з використанням наземних засобів [1, 2].

Центральне місце в управлінні польотами БПЛА займає планування, яке є обов'язковим, невід'ємним елементом цього процесу. Планування польоту конкретного апарату починається на етапі проектування при визначенні льотних характеристик і параметрів бортових систем. У процесі наступної реалізації життєвого циклу БПЛА видозмінюється й план польоту, набуваючи того вигляду, який використовується на стадії управління польотом [3].

Інформаційне забезпечення управління польотом включає багато складових. Не зменшуючи значення інших видів інформаційного забезпечення, слід визнати, що одне з центральних місць в завданні управління польотами відводиться топогеодезичному забезпеченню. Взагалі кажучи, термін “забезпечення” умовний і недостатньо повно відбиває істоту вирішуваних завдань отримання й використання сукупності топогеодезичних даних, необхідних для планування, підготовки до запуску, пуску й польоту БПЛА або їх угруповання.

Існуючи види інформаційного забезпечення управління польотом БПЛА значною мірою впливають через фундаментальні властивості динамічних систем, такі як керованість і оперативність коригування даних, на структуру автоматизованої системи управління (АСУ) БПЛА у цілому.

При цьому будь-яка з можливих структур АСУ БПЛА повинна мати високу цільову готовність, живучість, здатністю нормально функціонувати в умовах обмежених ресурсів і забезпечувати як централізоване, так і децентралізоване управління. Залежно від вирішуваних завдань АСУ БПЛА може функціонувати в різних режимах, переробляючи великі інформаційні потоки щодо топогеодезичного забезпечення, що обумовлює необхідність централізованої координації та ієрархічного управління [5].

Досвід експлуатації БПЛА свідчить про те, що ефективне управління їх польотом якнайкраще забезпечується системою з декількох основних ланок, кожна з яких здатна виконувати усі функції або їх значну частину. До таких ланок відносять [5]:

- наземний комплекс управління (блок управління та зв'язку), засоби моделювання польотом і забезпечення обміну інформацією між БПЛА і блоком управління;

- бортову автоматику БПЛА, або бортовий комплекс автоматичного управління, що включає “інтелектуальну” частину у вигляді бортової обчислювальної системи і комутаційно-виконавчу – у вигляді приладів, що перетворюють вихідні сигнали обчислювальної системи в релейні управляючі дії необхідного вигляду.

Система управління польотом БПЛА у сукупності з його бортовими комплексами, агрегатами, механізмами і елементами конструкції, об'єктами управління, що являються, утворює контур управління польотом.

Взагалі термін “метод управління БПЛА” означає сукупність положень, що встановлюють логіку, способи і засоби реалізації компонентів процесу управління, розподіл функцій між органами (засобами), що здійснюють цей процес, і взаємодію між ними.

Досягнення мети польоту БПЛА забезпечується спільним функціонуванням їх систем і підсистем АСУ пункту управління. Тому в процесі польоту необхідно управляти роботою не лише систем БПЛА, але і усіх елементів АСУ управління. При цьому актуальним є правильне визначення координат прив'язки маршруту польоту та його оперативне коригування.

Основна частина.

Топогеодезична прив'язка БПЛА складається з визначення прямокутних координат точок маршруту, їх абсолютних висот, географічної широти та зближення меридіанів, визначення дирекційних кутів (азимутів), перерахунок прямокутних координат точок маршруту у зону польоту та визначення поправки до дирекційного кута на перехід в суміжну зону.

На практиці топогеодезична прив'язка БПЛА виконується за даними навігаційних систем завчасно при підготовці маршруту.

На даний час для розв'язання задач топогеодезичного забезпечення на практиці можливе використання сучасних супутникових технологій у рамках визначення прямокутних координат і висот зони запуску БПЛА, розробки комплексних одометричних навігаційних систем з коригуванням від засобів супутникової навігації, а також їх використання для точного визначення

дирекційних кутів (азимутів) існуючих і перспективних БПЛА.

1. Розробка методологічного підходу до оцінки можливостей використання сучасних супутникових технологій для топогеодезичного забезпечення БПЛА.

Пропонуються два підходи до аналізу можливості застосування засобів супутникової навігації для топогеодезичного забезпечення БПЛА. Перший підхід заснований на забезпеченні характеристик, які пред'являються до топогеодезичного забезпечення існуючих апаратів. При досягненні цих характеристик за допомогою засобів супутникової навігації робиться висновок о можливості використання конкретних засобів, які б забезпечили виконання потрібних вимог.

Однак, на практиці дуже часто виникає ситуація, коли необхідно оцінити можливість використання засобів топогеодезичного забезпечення або сформулювати вимоги до такого забезпечення, коли невідомі деякі тактико-технічні характеристики БПЛА (наприклад, до комплексів, що розробляються), вузлів та механізмів або моделі, що описують функціонування елементів БПЛА, дуже складні, а натурні експерименти недопустимі або дорого коштують. У цьому випадку пропонується використовувати підхід, заснований на визначенні відносного зниження коефіцієнту ефективності виконання задач за рахунок помилок топогеодезичної підготовки [5]:

$$K_E = 1 - \frac{(E'_x)^i \cdot (E'_y)^i}{(E'_x)^p (E'_y)^p}, \quad (1)$$

де E'_x, E'_y – сумарні приведені серединні помилки визначення маршруту польоту без урахування розсіювання (помилки підготовки даних для запуску), а індекси “i” та “p” вказують, що ці помилки визначені відповідно до ідеального та реального топогеодезичного забезпечення запусків.

При цьому справедливе співвідношення для оцінки значень E'_x, E'_y :

$$E'_x = E_x \sqrt{1 + 0,15 \cdot \left(\frac{L}{E_x}\right)^2}, \quad (2)$$

$$E'_y = E_y \sqrt{1 + 0,15 \cdot \left(\frac{M}{E_y}\right)^2}, \quad (3)$$

де E'_x, E'_y – сумарні помилки стрільби без урахування технічного розсіювання по дальності та напрямку;

L, M – розміри ділянки місцевості польоту БПЛА.

Без урахування технічного розсіювання та приймаючи до уваги, що помилки за рахунок топогеодезичного забезпечення прийнято розглядати з ваговим коефіцієнтом $k = 0.3$ та що $E_x \approx E_y \approx \delta_\Sigma$, справедливе наступне співвідношення для оцінки впливу помилок при стрільбі за рахунок впливу топогеодезичного забезпечення:

$$\delta_{\text{тп}} = k \cdot \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = 0,3 \cdot \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \approx 0,3 \cdot \delta_\Sigma. \quad (4)$$

Звертаючись до виразів (2) і (3), можливо записати співвідношення для реального та ідеального впливу засобів топогеодезичного забезпечення на маршрут польоту БПЛА:

$$(E'_x)^p = \delta_\Sigma \cdot \sqrt{1 + 0,15 \cdot \left(\frac{L}{\delta_\Sigma}\right)^2}; \quad (5)$$

$$(E'_y)^p = \delta_\Sigma \cdot \sqrt{1 + 0,15 \cdot \left(\frac{M}{\delta_\Sigma}\right)^2}; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} (E'_x)^i &= (\delta_\Sigma - 0,3\delta_\Sigma) \cdot \sqrt{1 + 0,15 \cdot \left(\frac{L}{(\delta_\Sigma - 0,3\delta_\Sigma)}\right)^2} = \\ &= 0,7\delta_\Sigma \cdot \sqrt{1 + 0,15 \cdot \left(\frac{L}{0,7\delta_\Sigma}\right)^2}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} (E'_y)^i &= (\delta_\Sigma - 0,3\delta_\Sigma) \cdot \sqrt{1 + 0,15 \cdot \left(\frac{M}{(\delta_\Sigma - 0,3\delta_\Sigma)}\right)^2} = \\ &= 0,7\delta_\Sigma \cdot \sqrt{1 + 0,15 \cdot \left(\frac{M}{0,7\delta_\Sigma}\right)^2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Отримані залежності були використані для оцінки значення δ_Σ . Розв'язання проводилось на ЕОМ за допомогою програмного середовища MAPLE. У випадку, коли $L = M$, для визначення δ_Σ можна використовувати отримане наступне співвідношення:

$$\delta_\Sigma = \pm \frac{50L\sqrt{(1530 - 3000K)(-1 + 125000K)}}{-0,127 \cdot 10^7 + 0,25 \cdot 10^7 K} \quad (9)$$

Визначити вимоги до топогеодезичного забезпечення можливо,

базуючись на співвідношеннях для помилок за дальністю та у боковому відхиленні. У загальному вигляді середнє квадратичне відхилення (СКВ) топоприв'язки описується формулою:

$$\delta_{\text{тп}} = \sqrt{\delta_{x_c y_c}^2 + \delta_{x_{\text{ц}} y_{\text{ц}}}^2 + \frac{\delta_{\alpha_{\text{он}}}^2 \cdot D^2}{\rho^2} + \delta_{H_c}^2 + \delta_g^2}, \quad (10)$$

де $\delta_{x_c y_c}$ – СКВ визначення координат точки запуску БПЛА;

$\delta_{x_{\text{ц}} y_{\text{ц}}}$ – СКВ визначення координат маршруту польоту;

δ_{H_c} – СКВ визначення висоти запуску БПЛА;

δ_g – СКВ визначення прискорення вільного падіння;

$\delta_{\alpha_{\text{он}}}$ – СКВ визначення точки розвороту запуску БПЛА;

D – дальність пуску;

ρ – 206265 ''.

Сумуючи незалежні помилки, отримуємо складну серединну помилку стрільби за рахунок засобів топоприв'язки:

а) за дальністю:

$$\delta_{\text{тп}} = \sqrt{\delta_{x_c y_c}^2 + \delta_{x_{\text{ц}} y_{\text{ц}}}^2 + \delta_{H_c}^2 + \delta_g^2}. \quad (11)$$

Враховуючи, що прискорення вільного падіння суттєво не змінюється, цю помилку можливо не враховувати;

б) у боковому напрямку:

$$\delta_{\text{тп}} = \sqrt{\delta_{x_c y_c}^2 + \delta_{x_{\text{ц}} y_{\text{ц}}}^2 + \frac{\delta_{\alpha_{\text{он}}}^2 \cdot D^2}{\rho^2}}. \quad (12)$$

Визначимо вимоги до точності засобів топогеодезичного забезпечення по визначенню вихідних координат та азимуту дирекційного напрямку. Зробимо

припущення, що $\xi = \frac{\pi}{4}$, $\delta_{x_c y_c} = \delta_{H_c}$ та $L = M$, отримуємо:

$$\delta_{xy} = \pm \frac{50L\sqrt{(510 - 1000K)(-1 + 125000K)}}{-0.127 \cdot 10^7 + 0.25 \cdot 10^7 K}, \quad (13)$$

$$\delta_{\alpha_{\text{он}}} = \pm \frac{50 \cdot D \cdot L\sqrt{(255 + 500K)(-1 + 125000KL^2)}}{-637500D^2 + 0.125 \cdot 10^7 D^2 K}. \quad (14)$$

Отримані співвідношення пов'язують коефіцієнт відносного зниження ефективності виконання бойових задач за рахунок помилок топогеодезичної підготовки, дальність та розміри зони польоту БПЛА й дозволяють сформулювати

вимоги до топогеодезичного забезпечення стосовно помилок визначення прямокутних координат, висоти старту та польоту й азимуту дирекційного напрямку.

На рис. 1 наведена залежність СКВ від відносного зниження коефіцієнту ефективності виконання задач польоту за рахунок помилок топогеодезичної підготовки для дальності 200 км, $L=M=100$ м. На рисунку 2 наведена залежність помилки визначення азимуту дирекційного напрямку від сумарного СКВ для різних дальностей польоту, $L=M=100$ м. На рисунку 3 відображена залежність помилки визначення прямокутних координат від сумарного середнє квадратичного відхилення при дальності польоту 200 км, $L = M = 100$ м.

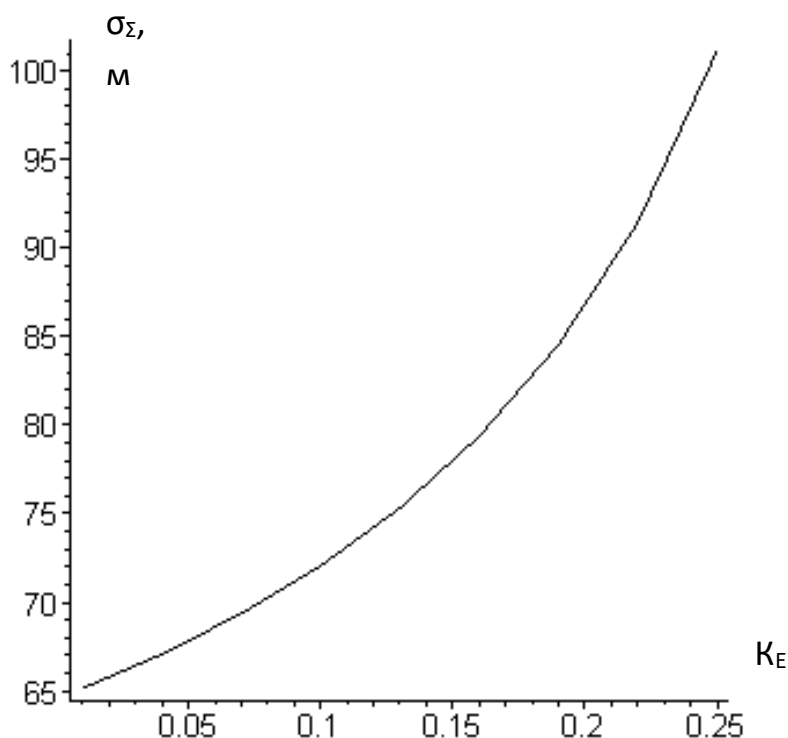


Рис. 1. Залежність СКВ від відносного зниження коефіцієнту ефективності польоту згідно маршруту за рахунок помилок топогеодезичної підготовки

Таким чином, послідовність дій при оцінці можливостей використання сучасних супутникових технологій для топогеодезичного забезпечення БПЛА може бути наступна.

1. Визначення відносного зниження коефіцієнту ефективності виконання маршруту польоту за рахунок помилок топогеодезичної підготовки.
2. На основі отриманого значення визначається сумарне СКВ.
3. Для необхідної дальності польоту визначаються необхідні $\delta_{x_{Ц}y_{Ц}}$ – СКВ

визначення координат місця запуску; $\delta_{\alpha_{\text{он}}}$ – СКВ визначення кута.

4. Для отриманих значень СКВ визначення координат запуску та СКВ визначення кута підбираються необхідні засоби супутникової навігації, що забезпечують потрібні характеристики.

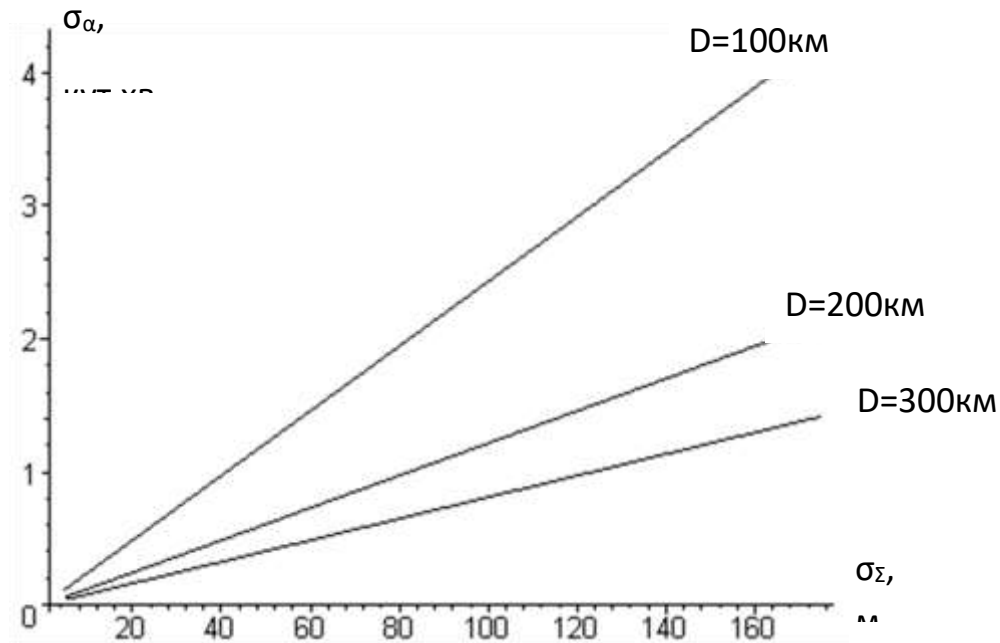


Рис. 2. Залежність помилки визначення азимуту дирекційного напрямку від сумарного СКВ для різної дальності польоту, $L = M = 100\text{ м}$

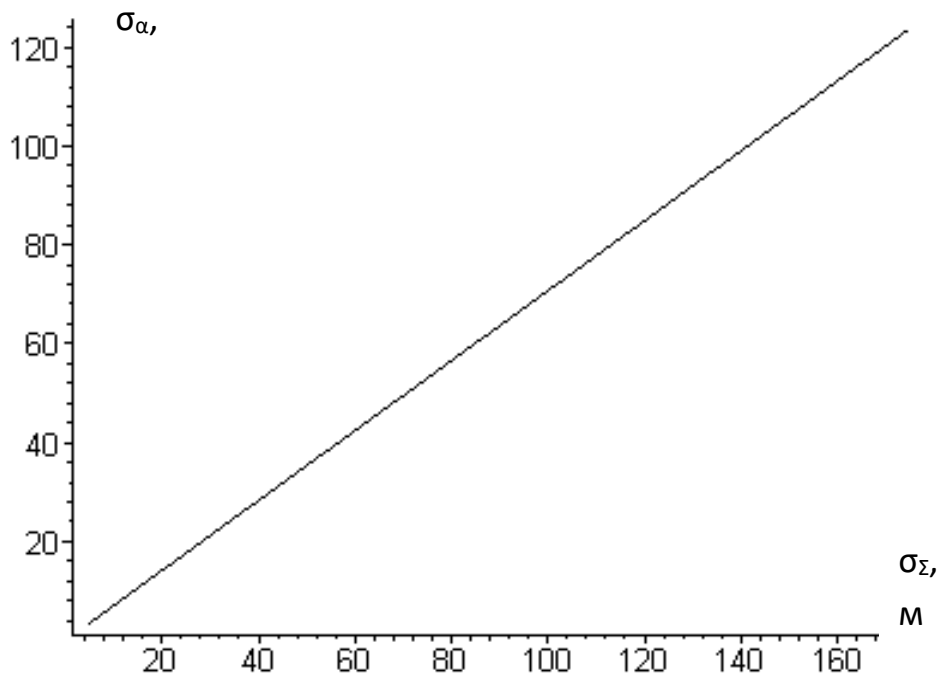


Рис. 3. Залежність помилки визначення прямокутних координат від сумарного СКВ при дальності польоту 200 км , $L = M = 100\text{ м}$

2. Технічні вимоги до апаратури комплексної навігаційної системи бортового обладнання БПЛА.

Рішення задачі навігації містить визначення координат рухомого об'єкту, а також його швидкості та напрямку руху. У даний час застосовуються чотири типи систем наземної навігації:

- системи зчислення шляху (СЗШ) одометричного типу – топоприв'язки;
- радіонавігаційні системи наземного базування;
- супутникові навігаційні системи;
- інерціальні навігаційні системи.

Найбільшою мірою вимогам, що пред'являються до топогеодезичної прив'язки точки запуску БПЛА, відповідає одометричний спосіб визначення координат, заснований на розрахунку приросту координат за даними датчика курсу системи гірокурсоркреноказання (СГККВ) і вимірювача швидкості (шляхової системи). Достоїнства способу обчислення координат полягають в можливості забезпечення автономності, всепогодності, високої завадостійкості, визначення координат в процесі руху. Недоліком є збільшення похибки визначення координат із збільшенням часу руху та пройденого шляху, а також необхідність періодичних калібрувань системи.

За допомогою далекоміра та візиру способом тріангуляції визначають координати точки запуску по орієнтиру з відомими координатами, що знаходиться в зоні видимості, але недоступному для під'їзду.

Серед актуальних завдань, що стоять перед топогеодезичним та навігаційним забезпеченням (ТГНЗ), необхідно виділити наступні:

- скорочення часу готовності апаратури автономної одометричної системи топоприв'язки і навігації (АОСТН);
- підвищення точності визначення координат АОСТН і доведення її до 10 м і менш;
- високоточне оцінювання кута, дирекції подовжньої вісі точки запуску БПЛА;
- калібрування АОСТН при виконанні навігаційного забезпечення.

Скорочення часу готовності АОСТН безпосередньо пов'язано із зменшенням часу визначення кута дирекції подовжньої вісі точки запуску на за відсутності апріорної інформації про напрям меридіану. У даний час за оцінками фахівців найменший час може скласти (2...3) хвилини.

Актуальність високоточного оцінювання кута дирекції подовжньої вісі точки запуску БПЛА на маршруті обумовлена необхідністю своєчасного у

заданий район і видачі дирекційного кута подовжньої осі в автоматизовану наземну систему управління (АНСУ)

Перспективу підвищення точності обчислення координат одометричними системами пов'язують із залученням в навігаційний алгоритм додаткової навігаційної інформації: позиційної, швидкісної або кутової.

Джерелами позиційної інформації можуть бути пункти з відомими координатами, поряд з якими може опинитися точка запуску, наземна апаратура споживача (НАС), цифрові карти місцевості тощо.

Джерелами швидкісної (шляхової) інформації може бути додатковий датчик швидкості (ДДШ) і НАС.

Додаткова кутова інформація може бути одержана за допомогою гірокомпаса, що самоорієнтується, СГККВ, візирного пристрою або НАС з кутомірним каналом.

Найбільш перспективним джерелом додаткової навігаційної інформації є навігаційна апаратура споживача, що вводиться в даний час до складу ряду підрозділів забезпечення польотів БПЛА. Похибка визначення координат НАС досягає 30 м, яка практично не залежить від часу руху. У диференціальному режимі вона не перевищує 6 м. Похибка визначення проекцій швидкості досягає 0,07 м/с. Проте, не дивлячись на високі точносні показники, НАС неавтономна й їй властива можлива періодичність надходження навігаційної інформації. Тому для усунення недоліків, властивих як інерціальній навігаційній системі (ІНС), так супутниковій радіонавігаційній системі (СРНС), а також підвищення точності навігаційних визначень необхідно комплексувати зазначені системи в одну корегувальну систему. Необхідно зазначити, що ведуться розробки, направлені на виробництво комплексування систем навігації, і для їх виробництва немає принципових труднощів. Є основні принципи комплексування:

- об'єднання навігаційних даних різної фізичної природи (навігаційні датчики використовують різні фізичні принципи і мають різний спектральний склад похибок);

- оцінювання поточних навігаційних параметрів на основі всієї доступної навігаційної інформації, включаючи і апріорні дані про параметри;

- проведення статистичної обробки даних з урахуванням їх імовірнісно-кореляційних властивостей;

- проведення оптимізації навігаційних вимірювань з метою досягнення максимальної точності та достовірності вимірювань для даних умов;

- проведення оцінки точності навігаційних визначень;

– повна автоматизація всіх процесів комплексування вимірювачів (їх включення, юстирування, зміна режимів роботи тощо).

Всі способи комплексування пов'язані із залученням і обліком зовнішньої додаткової інформації по відношенню до основної. У наземній навігації знайшли застосування два способи використання додаткових даних.

У першому способі частина основних даних замінюється додатковою таким чином, що сукупно використовувана інформація виявляється необхідною та достатньою для однозначного визначення шуканого вектора. Це означає, що не використовується частина датчиків основної інформації. Прикладом такого комплексування є шляхова система одометричної системи навігації, що включає доплерівський і механічний датчики швидкості. При малих швидкостях руху для обчислення координат використовуються оброблені результати вимірювань механічного датчика. При великих швидкостях руху використовується вимірювання доплеровського датчика.

Таке комплексування дозволяє мати в навігаційному алгоритмі вимірювання з датчика, що забезпечує кращу в даному діапазоні швидкостей точність. Можливості додаткової навігаційної інформації при цьому способі організації сукупної інформації в системі повністю не реалізуються.

Другий спосіб використання додаткової інформації припускає комплексну її обробку в поєднанні з основною. На основі надмірності сукупної інформації проводиться рішення задачі оптимізації та, тим самим, підвищення точності АОСТН.

Завдання корекції АОСТН за допомогою додаткової інформації ставиться як завдання оцінювання (недоступного безпосередньо вимірюванню) вектора похибок елементів АОСТН і засобів, що доставляють додаткову інформацію, з метою подальшого використання знайдених оцінок для калібрування АОСТН на всьому маршруті проходження та виключення похибок обчислення координат, що накопичилися за тривалий період.

Суть методу полягає:

– у знаходженні різницевого (коригуючого) вектора Z основної Z_0 і додаткової Z_d навігаційної інформації, який є різницею похибок навігаційних систем, що представляють інформацію;

– у уявленні в лінійній формі залежності між корегуючим вектором і вектором оцінюваних параметрів (фазовим вектором), які є чинниками, що визначають похибки навігаційних даних (похибки координат вихідної позиції, похибки початкової орієнтації, постійну швидкість дрейфу системи гірокурсореновказання (СГККВ), масштабний коефіцієнт шляхової системи

тощо);

– у оцінюванні фазового вектора по сукупності вимірювань навігаційної інформації;

– у калібруванні АОСТН;

– у виключенні похибок обчислення координат, що накопичилися.

Використання даних вимірювань висоти польоту та точки запуску БПЛА з НАС дозволить не тільки підвищити точність визначення приросту висоти за допомогою АОСТН, але і підвищити точність одометричної системи за рахунок обліку похибок висоти при розрахунку приростів планових координат.

Особливістю швидкісної інформації, що реєструється НАС, є практична відсутність систематичної складової похибки визначення швидкості руху та достатньо висока точність. Використання швидкісної інформації приводить до простих навігаційних алгоритмів калібрування СНТП.

Технічні вимоги до апаратури споживача СРНС, що встановлюються на бортовій апаратурі БПЛА.

1. Система автономної навігації (визначення даних про положення, напрям і швидкість руху об'єкту). Ця система необхідна для забезпечення глобальної навігації на маршруті польоту.

2. Автоматична система точної навігації з обробкою диференціальних поправок у реальному часі, яка необхідна для забезпечення точної локальної навігації, наприклад, в районі аеродромів, інших крупних важливих площадкових об'єктів.

3. Система точної навігації та визначення просторової орієнтації рухомого об'єкту в автоматичному режимі, як засіб управління.

4. Система автономної навігації підвищеної точності в ручному режимі – як засіб визначення координат начального розрахунку.

5. Система топогеодезичної прив'язки позицій по координатах з диференціальною пост-обробкою стаціонарних спостережень, що дозволяє проводити подальший аналіз використовуваних початкових даних.

3. Основні вимоги до технічних характеристик НАС.

Апаратне виконання зазначених вище систем 1, 2 і 3 необхідно проводити за модульним принципом, у вигляді вбудованого системного блоку та антени. Апаратна реалізація систем 4 і 5 повинна бути закінченими виробами з індикатором, клавіатурою, джерелами живлення. Апаратура системи 5 поставляється у вигляді комплектів з двох і більш приймачів із зовнішніми накопичувачами і засобами обробки спостережень.

Точність визначення координат при цьому у межах:

- тип 1 – (10...30) м і грубіше (до 100 м);
- тип 2 – (1... 10) м;
- тип 3 – (1...10) м; кути – (3...5)';
- тип 4 – (5...15) м;
- тип 5 – (0,1...5) м.

Спостережувані величини – кодова дальність і доплерівський зсув частоти по системах ГЛОНАСС і НАВСТАР. Апаратура геодезичного класу крім того повинна виконувати спостереження фази несучої частоти.

Математичне та програмне забезпечення.

Видача координат в системі WGS84, ПЗ90, СК42 у форматі: широта, довгота, висота або планові координати на площині в проекції Гаусса-Крюгера.

Система типу 4 повинна вирішувати допоміжні завдання планування та відпрацювання руху по маршруту. Система типу 5 повинна передбачати програмування сеансів спостережень і їх автоматичне відпрацювання, накопичення спостережень і пост-обробку на зовнішніх пристроях.

Проведені розрахунки показали, що для забезпечення точності навігаційних вимірювань і топогеодезичної прив'язки доцільно використовувати комплексовану (інерціальну з GPS) систему топоприв'язки. Комплексована система, що пропонується, повинна забезпечувати необхідну точність підготовки навігаційних даних для забезпечення точності польоту за маршрутом БПЛА, а саме:

а) при дальності польоту на 300 км:

без бортової навігаційної апаратури, час підготовки обмежений ($\cong 15$ хвилин):

- точність визначення геодезичних координат ± 5 м;
- точність визначення азимута базового напрямку (дирекційних кутів) 20'';

при наявності бортової навігаційної апаратури, час підготовки необмежений (можливість організації диференціального режиму):

- точність визначення геодезичних координат ± 2 м;
- точність визначення азимута базового напрямку (дирекційних кутів) 20'';

існуючі БПЛА з наземними станціями керування, час підготовки обмежений ($\cong 15$ хвилин):

- точність визначення геодезичних координат ± 20 м;

– точність визначення азимута базового напрямку (дирекційних кутів) 40'';

ГЧ з самонаведенням, час підготовки необмежений (можливість організації диференціального режиму):

– точність визначення геодезичних координат ± 2 м;

– точність визначення азимута базового напрямку (дирекційних кутів) 20'';

перспективні БПЛА з бортовою навігаційною системою та можливістю коригування даних за допомогою наземної апаратури, час підготовки обмежений ($\cong 15$ хвилин):

– точність визначення геодезичних координат ± 30 м;

– точність визначення азимута базового напрямку (дирекційних кутів) 5';

б) при дальності польоту до 100 км:

– точність визначення геодезичних координат ± 20 м;

– точність визначення азимута базового напрямку (дирекційних кутів) 2';

– можливість контролю кутів установки з точністю, що забезпечує характеристики запуску БПЛА.

Технічні вимоги до усіх режимів функціонування комплексної системи навігації БПЛА.

1. Середня квадратична похибка визначення поточних значень навігаційних параметрів:

– висоти в автономних визначеннях: не більше 4 м;

– вектора швидкості: 0,1 м/с.

2. Час одержання першого визначення навігаційних параметрів із заданою похибкою після закінчення підготовки до роботи: не більше 3 хв.

3. Час одержання періодичних обсервацій не більше 1,5 хв.

4. Електроживлення від акумуляторного блоку напругою 12 В або зовнішнього джерела постійного струму напругою (10...30) В;

5. Апаратура повинна зберігати свої тактико-технічні дані при:

– зміні навколишньої температури від мінус 60°C до плюс 65°C ;

– підвищення відносної вологості до 100 % при температурі 25°C ;

– наявності синусоїдальних вібрацій в діапазоні частот (1...300) Гц з амплітудою віброприскорення 49 м/с² (5g);

– після впливу акустичного шуму в діапазоні частот (50...10000) Гц з відносним рівнем звукового тиску 130 дБ;

– після впливу механічного удару одноразової дії з піковим ударним

прискоренням 980 м/с^2 (100g) і тривалістю дії (1...5) с;

- після впливу механічного удару багаторазової дії з піковим ударним прискоренням 147 м/с^2 (15g) і тривалістю дії (5...10) с;
- падінні в робочому стані з висоти 0,75 м;
- наявності соляного туману.

До складу вимірювального комплексу на борту БПЛА повинні входити елементи:

- інерціальний вимірювальний блок;
- ПЕВМ типу NoteBook;
- датчики додаткової інформації доплерівського типу і НАС СРНС;
- джерела живлення;
- далекомірно-кутомірний пристрій прив'язки до недоступних наземних пунктів.

Характеристики інерціальної навігаційної системи:

- гіроскопи (лазерні) із стабільністю не нижче за 0,01 градус/год.;
- акселерометри з точністю (1...5) мГал;
- діапазон вимірюваних значень кутових швидкостей 300 град/с, прискорень – до 5g;
- тривалість безперервної роботи – 24 години на добу;
- середній час наробітку на відмову – 5000 годин;
- тривалість терміну експлуатації – 20000 годин;
- термін зберігання – 10 років;
- маса до 30 кг;
- об'єм до 20 куб. см;
- діапазон робочих температур від $(-20 \dots +50)^\circ \text{C}$;
- допустимий рівень вібрації – до 5g;
- стійкість до ударних навантажень – до 10g;
- джерело живлення постійного струму – (24..32) В;
- споживана потужність – 60 Вт.

Висновки. Таким чином, на підставі вище викладеного можна сформулювати наступні пропозиції щодо практичного застосування сучасних супутникових технологій для топогеодезичного забезпечення польотів БПЛА. Для розв'язання задач топогеодезичного забезпечення можливо впровадження сучасних супутникових технологій для визначення прямокутних координат і висот стартової позиції, розробки комплексних одометричних навігаційних систем з коригуванням від засобів супутникової навігації, а також їх використання для точного визначення дирекційних кутів (азимутів)

орієнтирних (вихідних) напрямків як існуючих, так і перспективних БПЛА. Для оцінки можливостей використання сучасних супутникових технологій для топогеодезичного забезпечення БПЛА пропонується використовувати методику, яка запропонована в 1 пункті та заснована на визначенні відносного зниження коефіцієнту ефективності виконання задач польоту за рахунок помилок топогеодезичної підготовки. На підставі проведених розрахунків та вищенаведеного матеріалу для забезпечення точності навігаційних вимірювань і топогеодезичної прив'язки доцільно використовувати комплексовану (інерціальну з GPS) систему топоприв'язки.

ЛІТЕРАТУРА

1. А. А. Дмитриевский, и Л. Н. Лысенко, *Внешняя баллистика*, М.: Машиностроение, 2005.

2. А. В. Костров, и А. М. Шатило, *Модельно-экспериментальные методы определения аэромеханических характеристик летательных аппаратов на баллистических трассах*, Москва: МО СССР, 1982.

3. *Экспериментальная баллистика ракетно-космических средств*, Москва: ВА РВСН им. Петра Великого, 2000.

4. А. А. Журавлев, С. В. Новиченко, и С. В. Герасимов, “Метод расчета прогнозируемой траектории аэробаллистического аппарата”, *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, Вип. 2 (15), с. 97, 2014.

5. С. В. Герасимов, А. М. Гричанюк, та О. О. Журавльов, “Дослідження високоточних систем навігації літальних апаратів за наземними орієнтирами” *Зб. наук. пр. Харківського національного університету Повітряних Сил*, Вип. 5 (54), с. 48 – 53, 2017.

1.4. Метод діагностичного контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту для зменшення витрат на перевезення вантажів

Вступ і постановка задачі. Останнім часом збільшилась частина вантажоперевезень водним транспортом [1]. При цьому застосовуються як відносно не великі засоби (судна) для транспортування вантажів річковим транспортом, та і великі засоби для трансатлантичних перевезень. Для економії коштів при перевезенні вантажів або при перевезенні продуктів харчування актуальним є завдання планування (прокладання) оптимального маршруту для зменшення часу руху. Однак, при цьому слід враховувати й технічний стан засобів водного транспорту, який може значно впливати на вартість перевезення. Так, наприклад, несправність силової установки (двигуна) засобу водного транспорту може призвести до збільшення витрат палива, зменшення потужності, або навіть виходу з ладу під час маршруту. Враховуючи те, що переважна більшість засобів водного транспорту України (включаючи ті, що знаходяться в оренді інших компаній) має значну витрату ресурсу, актуальним науковим завданням є розробка методу діагностичного контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту для своєчасного усунення можливих несправностей [1]. Це забезпечить оптимальні (планові) витрати на перевезення вантажів за допомогою засобів водного транспорту та дозволить зменшити (а може і, взагалі, уникнути), додаткові (непланові) витрати при цьому.

Одним з поширених методів контролю технічного стану силових установок (двигунів) є аналіз поточної концентрації домішок зносу металу в оливі. Даний тип аналізу дозволяє оцінити ступінь зношеності деталей двигуна, які омиваються оливою. Основними для контролю домішок у оливі є колориметричний, полярографічний, індукційний, спектральний методи [2].

Руйнування деталей вузлів тертя часто починається з викришування або стирання поверхневого шару матеріалу деталей, що під впливом динамічних навантажень в поєднанні з силами тертя. Утворені при цьому продукти зносу потрапляють до оливи двигуна. Так як засоби водного транспорту для перевезення вантажів, навіть без навантаження, мають значну вагу, здійснюють рух зі значним опором навколишнього середовища (вода, підвищена вологість тощо), то силові установки працюють під значним навантаженням. Таким чином, олива двигуна засобів водного транспорту надає інформацію про інтенсивність протікають процесів тертя. Кількість продуктів зношування, що

надходять до оливи двигуна, залежить від швидкості зношування, яка, в свою чергу, обумовлена рівнем навантажень і умовами тертя. Отже, поширеним способом технічної діагностики стану двигунів є метод спектрального аналізу оливи, який полягає у визначенні концентрації в оливі продуктів зносу деталей, що труться, порівнюючи ці концентрації з нормами вмісту продуктів зносу металу, та визначенні ступеня зносу деталей, що труться. Однак, на результати аналізів сильно впливає заміна оливи в ході експлуатації або після ремонту. Внесене цими замінами спотворення величини концентрації металу в оливі виявляється настільки значним, що на тлі такої перешкоди практично неможливо виділити корисну інформацію про темпи зносу деталей або про їх аварійний стан. Найбільш часто такий спосіб періодичного огляду фільтра при технічному обслуговуванні малоефективний, оскільки велика частина частинок має незначний розмір (приблизно 3 мкм). Кількість продуктів зносу, що надходять в оливу, залежить від швидкості зношування, яка в свою чергу залежить від ступеня пошкодження елемента. Кожному виду зносу відповідає певний вид і склад продуктів [2]. Отже, пропонується метод оптимізації динамічних фільтрів для спектрального аналізу випадкових сигналів при діагностичному контролі технічного стану двигунів засобів водного транспорту.

Запропонований метод спрямований на досягнення необхідної достовірності контролю технічного стану [3 – 5] двигунів засобів водного транспорту за допомогою спектрального аналізу випадкових сигналів, які виникають при наявності несправностей або порушенні алгоритму роботи справних систем.

Основна частина.

Методи оптимізації форми функції спектрального вікна вузько-смугових фільтрів для спектрального аналізу випадкових сигналів.

Точність апаратного спектрального аналізу випадкових сигналів, заснованих на використанні вузько-смугової фільтрації, у значній мірі визначається відмінністю амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) вузько-смугового фільтра від ідеальної – прямокутної. При ідеальному спектральному вікні забезпечується повне усунення похибки “розмивання”, або “перетікання в” спектра та похибки, обумовленої амплітудною модуляцією спектру. Однак ідеальне спектральне вікно фізично не піддається реалізації. У зв'язку з цим великий практичний інтерес представляє задача оптимізації, що полягає у визначенні форми АЧХ $\Phi(\omega)$ або однозначно пов'язаної з ним перетворюючої

функції $H(\tau)$, які забезпечують максимальну точність (мінімальну похибка) апроксимації ідеального спектрального вікна $\Phi_0(\omega)$ при заданих значеннях смуги пропускання $\Delta\omega$, часу вимірювання (аналізу) T і відносної дисперсії оцінки спектральної щільності потужності (СЩП):

$$\Phi(\omega) = \chi\left(\omega_0 - \omega + \frac{\Delta\omega}{2}\right) + \chi\left(\omega_0 + \omega + \frac{\Delta\omega}{2}\right) + \chi\left(-\omega_0 - \omega + \frac{\Delta\omega}{2}\right) + \chi\left(-\omega_0 + \omega + \frac{\Delta\omega}{2}\right).$$

Розглянемо розв'язання цієї задачі для методу безпосередньої фільтрації та кореляційно-фільтрового методу вимірювання оцінок СЩП.

Методи оптимізації форми АЧХ вузько-смугових фільтрів для спектрального аналізу випадкових сигналів отримаємо для двох критеріїв [3]:

- мінімуму середньоквадратичної похибки апроксимації ідеальної, прямокутної функції спектрального вікна реальної функцією;
- мінімуму впливу бічних пелюсток функції спектрального вікна на похибка вимірювання оцінки СЩП.

Використання зазначених критеріїв обумовлено двома можливими постановками задачі оптимізації. У першому випадку (перша задача оптимізації) основною вимогою, що пред'являються до оптимальної АЧХ фільтра, є забезпечення мінімуму середньоквадратичної похибки апроксимації ідеальної АЧХ, але при цьому не накладається ніяких обмежень на поведінку АЧХ як у смузі аналізу, так і поза нею. У другому випадку (друга задача оптимізації) основна увага приділена забезпеченню мінімуму впливу бічних пелюсток функції спектрального вікна на похибка вимірювання оцінки СЩП. Ці дві задачі оптимізації охоплюють найбільш поширені вимоги, що пред'являються до функції спектрального вікна при вирішенні практичних завдань синтезу вузько-смугових фільтрів, які використовуються в апаратурі спектрального аналізу випадкових сигналів [4, 5].

Сформулюємо та вирішимо обидві задачі оптимізації АЧХ вузько-смугових фільтрів для спектрального аналізу.

1.1. Метод оптимізації функції спектрального вікна вузько-смугових фільтрів за мінімумом середньоквадратичної похибки апроксимації при вимірюванні оцінки спектральної щільності потужності.

Задача оптимізації АЧХ вузько-смугового фільтра $\Phi(\omega)$ за середньоквадратичним критерієм формулюється так: знайти оптимальну

перетворюючи функцію $H_{\text{опт}}(\tau)$ або оптимальну імпульсну перехідну характеристику $h(\tau)$ фільтра, що забезпечують мінімум функціоналу

$$\Gamma = \int_{-\infty}^{\infty} [\Phi(\omega) - \Phi_0(\omega)]^2 d\omega, \quad (1)$$

де $\Phi_0(\omega)$ – ідеальна (необхідна) спектральна функція (або АЧХ) фільтра. У нашому випадку ця функція прямокутна та аналітично описується виразом:

$$\Phi_0(\omega) = \begin{cases} \text{const, при } \omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2} < \omega < \omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}; \\ 0, & \text{при інших значеннях } \omega. \end{cases} \quad (2).$$

Функція $\Phi(\omega)$ визначається наступною рівністю:

$$\Phi(\omega) = \int_0^T H(\tau) \cos \omega \tau d\tau, \quad 0 < \tau < T. \quad (3)$$

Для розв'язання задачі оптимізації скористаємося варіаційним методом, відповідно до якого повинна виконуватися умова:

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial H(\tau)} = 0.$$

Тоді зі співвідношення (1) обчислимо:

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial H(\tau)} = 2 \int_{-\infty}^{\infty} [\Phi(\omega) - \Phi_0(\omega)] \frac{\partial \Phi(\omega)}{\partial H(\tau)} d\omega. \quad (4)$$

З урахуванням формули (3) знаходимо:

$$\frac{\partial \Phi(\omega)}{\partial H(\tau)} = \begin{cases} \cos \omega \tau, & 0 < \tau < T; \\ 0, & \tau > T. \end{cases}$$

Підставляючи це рівність у вираз (4), отримаємо:

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial H(\tau)} = 2 \int_{-\infty}^{\infty} [\Phi(\omega) - \Phi_0(\omega)] \cos \omega \tau d\omega, \quad 0 < \tau < T. \quad (5)$$

Прирівнюючи вираз (5) нулю, маємо:

$$\int_{-\infty}^{\infty} [\Phi(\omega) - \Phi_0(\omega)] \cos \omega \tau d\omega = 0, \quad 0 < \tau < T. \quad (6)$$

Оскільки, відповідно до перетворенню Фур'є,

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Phi(\omega) \cos \omega \tau d\omega = \pi H(\tau),$$

то з виразу (6) отримаємо:

$$\pi H(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_0(\omega) \cos \omega \tau d\omega.$$

З урахуванням рівності (4), знаходимо:

$$H_{\text{опт}}(\tau) = A \int_{\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}} \cos \omega \tau d\omega, \quad (7)$$

де $A = \frac{\Phi_0}{\pi} = \text{const}$ – постійна.

Після обчислень з формули (7), отримаємо:

$$H_{\text{опт}}(\tau) = A \frac{\sin(\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2})\tau - \sin(\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2})\tau}{\tau} = 2A \cos \omega_0 \tau \frac{\sin \frac{\Delta\omega \tau}{2}}{\tau}, \quad 0 < \tau < T. \quad (8)$$

При кореляційно-фільтровому методі вимірювання оцінки СЦП функція $H_{\text{опт}}(\tau)$ може бути реалізована, якщо вибрати $\Delta\omega T = 2k\pi$, де k – будь-яке ціле число. Тоді для оптимальної імпульсної характеристики фільтра, з урахуванням рівності (8), маємо:

$$h_{\text{опт}}(\tau) = \frac{H_{\text{опт}}(\tau)}{T - \tau} = 2A \cos \omega_0 \tau \frac{\sin \frac{\Delta\omega \tau}{2}}{\tau(T - \tau)}. \quad (9)$$

У той же час для методу вимірювання оцінки СЦП, заснованого на зведенні в квадрат фільтрованої реалізації випадкового сигналу, оптимальна перетворює функція $H_{\text{опт}}(\tau)$ не може бути реалізована, так як рівняння

$$N_1(u) = 2 \int_0^T h(\tau)h(\tau - u)(T - u)d\tau,$$

при $N_1 = N_{\text{опт}}$, не має рішення для $h(\tau)$. Якісно це видно хоча б з того, що функція $\Phi_1(\omega) > 0$, а перетворення Фур'є від $N_{\text{опт}}(\tau)$ може приймати і негативні значення.

1.2. Метод оптимізації функції спектрального вікна вузько-смугових фільтрів за мінімумом впливу бічних пелюсток на точність вимірювання оцінки спектральної щільності потужності.

Сформулюємо та розв'яжемо другу задачу оптимізації АЧХ вузько-смугових фільтрів для спектрального аналізу випадкових сигналів – за мінімумом впливу бічних пелюсток спектральної (частотної) характеристики фільтра $\Phi(\omega)$ при заданій дисперсії. Потім проведемо порівняльний аналіз результатів для обох задач оптимізації АЧХ вузько-смугових фільтрів.

Переходимо до розв'язання другої задачі оптимізації, сформульованої вище.

Внесок від бічних пелюсток функції спектрального вікна $\Phi(\omega)$ визначимо наступним виразом:

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{-\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}} \Phi(\omega)d\omega + \int_{-\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}} \Phi(\omega)d\omega + \int_{\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}}^{\infty} \Phi(\omega)d\omega = \\ & = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(\omega)d\omega - 2 \int_{\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}} \Phi(\omega)d\omega = Th(0) - 2 \int_{\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}} \Phi(\omega)d\omega. \end{aligned} \quad (10)$$

Очевидно, оптимізація вкладу бічних пелюсток функції $\Phi(\omega)$ у похибку вимірювання оцінки СЦП зводиться до забезпечення мінімуму різниці в правій частині виразу (10).

При заданій передавальній функції, тобто при $h(0) = \text{const}$, найменше значення вкладу від бічних пелюсток у похибку вимірювання оцінки СЦП досягається за умови, що значення $\int_{\Delta\omega} \Phi(\omega)d\omega$ максимальне. Однак зменшення

цього вкладу призводить до збільшення дисперсії оцінки СЦП [3]. Наприклад, для локальної оцінки $\Phi(\omega)$ внесок від бічних пелюсток дорівнює нулю, але

функція необмежено велика. Тому, коректної у даному випадку є постановка задачі оптимізації на умовний екстремум: знайти оптимальну імпульсну перехідну характеристику $h(\tau)$ вузько-смугового фільтра, що забезпечує мінімум вкладу від бічних пелюсток у похибку вимірювання оцінки СЦП за умови, що відносна дисперсія оцінки СЦП не перевищує заданого значення.

Для розв'язання цієї задачі її більш зручно сформулювати наступним чином: визначити імпульсну характеристику фільтра $h(\tau)$, що забезпечує максимум величиною $\int_{\Delta\omega} \Phi(\omega) d\omega$ за умови, що

$$\int_0^T (T - \tau) h^2(\tau) d\tau \leq L = \text{const}.$$

Таке завдання на умовний екстремум вирішується методом Лагранжа [2]. Введемо функціонал

$$\Gamma' = \int_{\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}} \Phi(\omega) d\omega - \lambda \int_0^T (T - \tau) h^2(\tau) d\tau, \quad (11)$$

де λ – множник (або коефіцієнт) Лагранжа.

Використовуючи формулу (3.9), обчислимо приватну похідну $\partial\Gamma'/\partial h(\tau)$ і прирівняємо її до нуля

$$\frac{\partial\Gamma'}{\partial h(\tau)} = \int_{\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}} \frac{\partial\Phi(\omega)}{\partial h(\tau)} d\omega - 2\lambda(T - \tau)h(\tau) = 0, \quad (12)$$

де $\frac{\partial\Phi(\omega)}{\partial h(\tau)}$ з урахуванням співвідношень (3) і (2) визначається рівністю:

$$\frac{\partial\Phi(\omega)}{\partial h(\tau)} = (T - \tau) \cos \omega T, \quad 0 < \tau < T. \quad (13)$$

Вирішуючи рівняння (12) з урахуванням рівності (13), аналогічно (8), отримуємо вираз для імпульсної характеристики фільтра

$$h'_{\text{опт}}(\tau) = A' \int_{\omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}} \cos \omega \tau d\omega = 2A' \cos \omega_0 \tau \frac{\sin \frac{\Delta\omega \tau}{2}}{\tau}, \quad (14)$$

де $A' = \text{const}$ – постійна.

Порівнюючи оптимальні функції $h_{\text{опт}}(\tau)$, вираз (9), і $h'_{\text{опт}}(\tau)$, вираз (14), відмітимо, що в області $\tau \ll T$, вони практично збігаються. У той же час функція $h'_{\text{опт}}(\tau)$ дещо простіше реалізується технічно, ніж функція $h_{\text{опт}}(\tau)$. Тому доцільно з'ясувати, наскільки істотно відрізняються спектральні функції (АЧХ) фільтрів $\Phi(\omega)$ і $\Phi'(\omega)$, отримані за допомогою функцій $h_{\text{опт}}(\tau)$, $h'_{\text{опт}}(\tau)$, і наскільки відрізняються їх дисперсії.

1.3. Порівняльний аналіз методів оптимізації функцій спектрального вікна вузько-смугових фільтрів

Використовуючи вирази (14) і (9), введемо нормування функцій $h_{\text{опт}}(\tau)$ і $h'_{\text{опт}}(\tau)$ (постійні A і A') так, щоб $h(0) = 1$. тоді отримаємо:

$$h_{\text{опт}}(\tau) = \frac{2T}{\Delta\omega} \cos \omega_0 \tau \frac{\sin \frac{\Delta\omega \tau}{2}}{\tau(T - \tau)};$$

$$h'_{\text{опт}}(\tau) = \frac{2}{\Delta\omega} \cos \omega_0 \tau \frac{\sin \frac{\Delta\omega \tau}{2}}{\tau}.$$

При цьому відповідно до рівності (9), що перетворюють функції для кожного з методів оптимізації визначаються рівностями:

$$H_{\text{опт}}(\tau) = \frac{2T}{\Delta\omega} \cos \omega_0 \tau \frac{\sin \frac{\Delta\omega \tau}{2}}{\tau}, \quad 0 < \tau < T; \quad (15)$$

$$H'_{\text{опт}}(\tau) = \frac{2}{\Delta\omega} (T - \tau) \cos \omega_0 \tau \frac{\sin \frac{\Delta\omega \tau}{2}}{\tau}, \quad 0 < \tau < T. \quad (16)$$

Використовуючи вирази для оптимальних імпульсних характеристик і функцій перетворення, визначимо відповідні їм оптимальні спектральні характеристики (функції спектрального вікна) фільтрів $\Phi(\omega)$ і $\Phi'(\omega)$ за формулою (3).

Для визначення спектральної функції (АЧХ) $\Phi(\omega)$ підставимо в формулу (3) вираз (15), отримаємо:

$$\Phi(\omega) = \frac{2T}{\Delta\omega} \int_0^T \cos \omega\tau \cos \omega_0\tau \frac{\sin \frac{\Delta\omega\tau}{2}}{\tau} d\tau \quad (17)$$

використовуючи рівність

$$\cos \omega_0\tau \sin \frac{\Delta\omega\tau}{2} = \frac{1}{2} \left[\sin \left(\omega_0\tau + \frac{\Delta\omega\tau}{2} \right) + \sin \left(-\omega_0\tau + \frac{\Delta\omega\tau}{2} \right) \right], \quad (18)$$

представимо співвідношення (17) у вигляді:

$$\Phi(\omega) = \Phi(\omega, \omega_0) + \Phi(\omega, -\omega_0), \quad (19)$$

де

$$\Phi(\omega, \omega_0) = \frac{T}{\Delta\omega} \int_0^T \cos \omega\tau \frac{\sin \left(\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2} \right) \tau}{\tau} d\tau; \quad (20)$$

$$\Phi(\omega, -\omega_0) = \frac{T}{\Delta\omega} \int_0^T \cos \omega\tau \frac{\sin \left(-\omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2} \right) \tau}{\tau} d\tau. \quad (21)$$

Обчислимо функцію $\Phi(\omega, \omega_0)$. Застосовуючи у формулі (20) перетворення, аналогічне співвідношенню (18), знаходимо:

$$\Phi(\omega, \omega_0) = \frac{T}{2\Delta\omega} \left[\int_0^T \frac{\sin \left(\omega_0 - \omega + \frac{\Delta\omega}{2} \right) \tau}{\tau} d\tau + \int_0^T \frac{\sin \left(\omega_0 + \omega + \frac{\Delta\omega}{2} \right) \tau}{\tau} d\tau \right].$$

Уявімо цю функцію так:

$$\Phi(\omega, \omega_0) = \chi \left(\omega_0 - \omega + \frac{\Delta\omega}{2} \right) + \chi \left(\omega_0 + \omega + \frac{\Delta\omega}{2} \right), \quad (22)$$

де

$$\chi(\Omega) = \frac{T}{2\Delta\omega} \int_0^T \frac{\sin \Omega\tau}{\tau} d\tau, \quad (23)$$

Причому

$$\chi(-\Omega) = -\chi(\Omega). \quad (24)$$

Аналогічно з виразу (22) для функції $\Phi(\omega, -\omega_0)$, яка описується співвідношенням (21), з урахуванням рівності (24) маємо:

$$\Phi(\omega, -\omega_0) = \chi \left(-\omega_0 - \omega + \frac{\Delta\omega}{2} \right) + \chi \left(-\omega_0 + \omega + \frac{\Delta\omega}{2} \right). \quad (25)$$

З урахуванням співвідношень (22) і (25) формула (19) приймає вигляд:

$$\begin{aligned} \Phi(\omega) = & \chi\left(\omega_0 - \omega + \frac{\Delta\omega}{2}\right) + \chi\left(\omega_0 + \omega + \frac{\Delta\omega}{2}\right) + \chi\left(-\omega_0 - \omega + \frac{\Delta\omega}{2}\right) + \\ & + \chi\left(-\omega_0 + \omega + \frac{\Delta\omega}{2}\right). \end{aligned} \quad (26)$$

Перегрупувавши у виразі (26) складові, маємо:

$$\Phi(\omega) = \chi\left(\omega + \omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}\right) - \chi\left(\omega + \omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}\right) + \chi\left(\omega - \omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2}\right) - \chi\left(\omega - \omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}\right)$$

або з урахуванням рівності (23)

$$\Phi(\omega) = \chi(\Omega_1) - \chi(\Omega_2) + \chi(\Omega_3) - \chi(\Omega_4) = \sum_{i=1}^4 (-1)^{i-1} \chi(\Omega_i), \quad (27)$$

$$\text{де } \Omega_1 = \omega + \omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2};$$

$$\Omega_2 = \omega + \omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2};$$

$$\Omega_3 = \omega - \omega_0 + \frac{\Delta\omega}{2};$$

$$\Omega_4 = \omega - \omega_0 - \frac{\Delta\omega}{2}.$$

Функцію $\chi(\Omega)$, згідно рівності (23), представимо у вигляді:

$$\chi(\Omega) = \frac{T}{2\Delta\omega} \int_0^T \frac{\sin \Omega \tau}{\tau} d\tau = \frac{T}{2\Delta\omega} \text{Si}(T\Omega), \quad (28)$$

$$\text{де } \text{Si}(x) = \text{si}(x) + \frac{\pi}{2}, \quad (29)$$

$$\text{si}(x) = -\int_x^{\infty} \frac{\sin x'}{x'} dx', \text{ при } x > 0.$$

Тоді для функції $\Phi(\omega)$ із формули (27) з урахуванням рівності (28) маємо:

$$\Phi(\omega) = \frac{T}{2\Delta\omega} \sum_{i=1}^4 (-1)^{i-1} \text{Si}(T\Omega_i),$$

або з урахуванням рівності (29)

$$\begin{aligned} \Phi(\omega) &= \frac{T}{2\Delta\omega} \sum_{i=1}^4 (-1)^{i-1} \left[\text{si}(T\Omega_i) + \frac{\pi}{2} \right] = \\ &= \frac{T}{2\Delta\omega} \sum_{i=1}^4 (-1)^{i-1} \text{si} T\Omega_i + \frac{T}{2\Delta\omega} \frac{\pi}{2} \sum_{i=1}^4 (-1)^{i-1} = \frac{T}{2\Delta\omega} \sum_{i=1}^4 \text{si}(T\Omega_i) \end{aligned} \quad (30)$$

Графік функції $\Phi(\omega)$ наведено на рисунку 1. З рисунку видно, що осциляції істотні тільки поблизу "країв" функції $\Phi(\omega)$, тобто поблизу частот

$\omega = \pm\omega_0 \pm \frac{1}{2}\Delta\omega$. Поблизу кожного “краю” функції $\Phi(\omega)$ з чотирьох доданків у формулі (27) або (30) основний внесок дає тільки один з них – той, аргумент якого звертається в нуль у відповідній точці. Його й необхідно враховувати при обчисленні похибки вимірювання оцінки СЦП, а іншими складовими можна знехтувати.

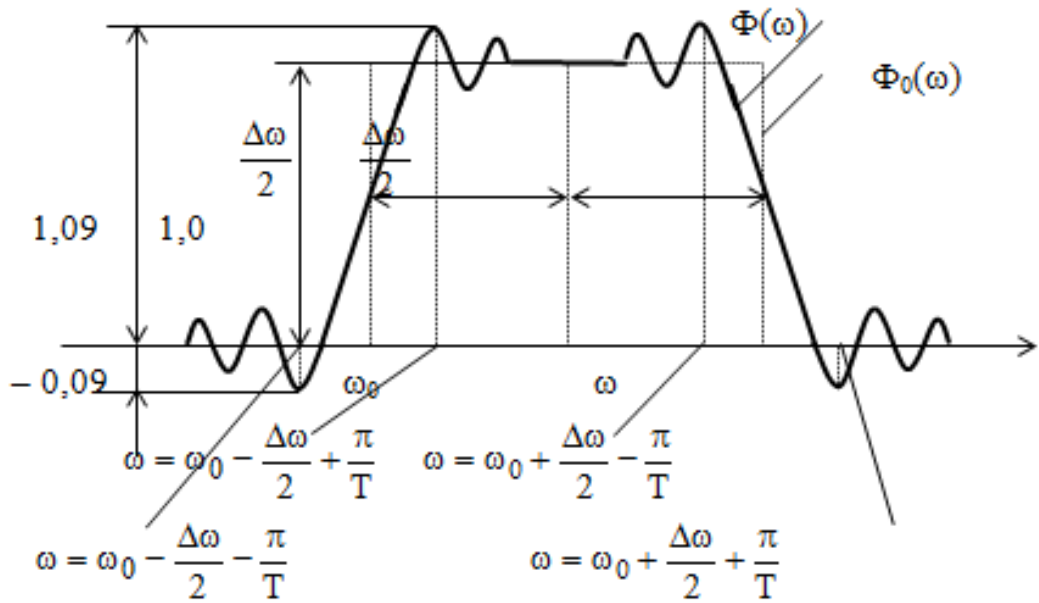


Рис. 1. Графік функції спектрального вікна $\Phi(\omega)$

Зазначимо, що на графіку (рис. 1) масштаб осі ω для наочності сильно перебільшений, так як при $T\Delta\omega \gg 1$ осциляції (коливання) є тільки поблизу “країв” функції $\Phi(\omega)$, на інтервалах порядку π/T . Відзначимо також, що, якщо функцію істинної СЦП $G(x)$, а, відповідно, і інтегральний синус $\text{Si}(x)$ можна вважати приблизно постійними поблизу “краю” на інтервалах порядку $\frac{1}{T}$, тобто якщо характерний масштаб $\text{Si}(x)$ великий порівняно з величиною $\frac{1}{T}$, то осциляції взагалі не позначаються, оскільки виникає через осциляцій добуток $\Delta X(\Omega)$ – антисиметрична функція Ω . Рівень найближчого до “краю” негативного викиду (при $\Omega = \frac{\pi}{T}$) дорівнює: $-\frac{1}{\pi}\text{Si}(\pi) = -\frac{0,281}{3,14} = -0,09$.

У середині спектрального вікна найбільший викид (при $\Omega = -\frac{\pi}{T}$) дорівнює $(1 + 0,09) = 1,09$.

Оцінимо значення середньоквадратичного відхилення реальної функції спектрального вікна $\Phi(\omega)$ від ідеальної (прямокутної) функції $\Phi_0(\omega)$, використовуючи формулу (1).

Для цього скористаємося тим, що функція $\Phi_0(\omega)$ виходить з функції $\Phi(\omega)$, відповідно до виразу (3), при $T \rightarrow \infty$. Тоді

$$\Phi(\omega) - \Phi_0(\omega) = \int_T^{\infty} H(\tau) \cos \omega \tau d\tau. \quad (31)$$

Підставляючи співвідношення (31) у формулу (1), маємо:

$$\Gamma = \int_{-\infty}^{\infty} d\omega \left[\int_T^{\infty} H(\tau) \cos \omega \tau d\tau \right]^2.$$

Уявімо це рівність у вигляді:

$$\Gamma = \int_{-\infty}^{\infty} d\omega \int_T^{\infty} d\tau d\tau' H(\tau) H(\tau') \cos \omega \tau \cos \omega \tau'.$$

Приймаючи до уваги, що

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \cos \omega \tau \cos \omega \tau' d\omega &= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} [\cos \omega(\tau - \tau') + \cos \omega(\tau + \tau')] d\omega = \\ &= \pi [\delta(\tau - \tau') + \delta(\tau + \tau')], \end{aligned}$$

запишемо:

$$\Gamma = \pi \int_T^{\infty} H^2(\tau) d\tau. \quad (32)$$

Підставляючи у вираз (32) оптимальну перетворюючу функцію $H_{opt}(\tau)$ згідно (15), маємо:

$$\Gamma = \frac{4\pi T^2}{(\Delta\omega)^2} \int_T^{\infty} \cos^2 \omega_0 \tau \frac{\sin^2 \frac{\Delta\omega \tau}{2}}{\tau^2} d\tau = \frac{\pi T^2}{(\Delta\omega)^2} \int_T^{\infty} (1 + \cos 2\omega_0 \tau)(1 - \cos \Delta\omega \tau) \frac{d\tau}{\tau^2},$$

або

$$\Gamma \approx \frac{\pi T^2}{(\Delta\omega)^2} \int_T^{\infty} \frac{d\tau}{\tau^2} = \frac{\pi T}{(\Delta\omega)^2} \left[1 + O\left(\frac{1}{T\Delta\omega}\right) \right]. \quad (33)$$

У той же час

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Phi_0^2 d\omega = 2\Phi_0^2 \Delta\omega = \frac{\pi^2 T^2}{2\Delta\omega}, \quad (34)$$

де враховано $\Phi_0 = \frac{\pi T}{2\Delta\omega}$.

Відносна середньоквадратична похибка наближення оптимальної спектральної характеристики $\Phi(\omega)$ до ідеальної характеристики $\Phi_0(\omega)$ визначається виразом:

$$\delta\Gamma = \frac{\Gamma}{\int_{-\infty}^{\infty} \Phi_0^2(\omega) d\omega}. \quad (35)$$

Після підстановки у формулу (35) рівності (33) і (34) знаходимо:

$$\delta\Gamma = \frac{2}{\pi T \Delta\omega} \left[1 + O\left(\frac{1}{T\Delta\omega}\right) \right]. \quad (36)$$

Визначимо спектральну функцію $\Phi'(\omega)$ для оптимальної перетворюючої функції $H'_{\text{опт}}(\tau)$, одержуваної при оптимізації по мінімуму бічних пелюсток і описуваної виразом (16).

Представимо функцію $\Phi'(\omega)$ у вигляді:

$$\Phi'(\omega) = \int_0^T H'(\tau) \cos \omega \tau d\tau = \int_0^T \left[H(\tau) - \frac{2}{\Delta\omega} \cos \omega_0 \tau \sin \frac{\Delta\omega \tau}{2} \right] \cos \omega \tau d\tau,$$

або з урахуванням співвідношення (2.45) запишемо:

$$\Phi'(\omega) = \Phi(\omega) + \Delta\Phi'(\omega), \quad (37)$$

$$\text{де } \Delta\Phi'(\omega) = -\frac{2}{\Delta\omega} \int_0^T \cos \omega_0 \tau \sin \frac{\Delta\omega \tau}{2} \cos \omega \tau d\tau.$$

Після перетворень, аналогічних попереднім, маємо:

$$\Delta\Phi'(\omega) = -\frac{T}{2\Delta\omega} \sum_{i=1}^4 (-1)^{i-1} \varphi(T\Omega_i), \quad (38)$$

$$\text{де } \varphi(x) = \frac{1}{x} \int_0^x \sin x' dx' = \frac{1 - \cos x}{x}. \quad (39)$$

З урахуванням виразів (30) і (38) формула (37) приймає вигляд:

$$\Phi'(\omega) = \frac{T\pi}{2\Delta\omega} \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^4 (-1)^{i-1} [\text{Si}(T\Omega_i) - \varphi(T\Omega_i)],$$

або

$$\Phi'(\omega) = \frac{T}{2\Delta\omega} \sum_{i=1}^4 (-1)^{i-1} f(T\Omega_i), \quad (40)$$

$$\text{де } f(x) = \text{Si}(x) - \frac{1 - \cos x}{x}. \quad (41)$$

Проаналізуємо поведінку функції $f(x)$. Перш за все, відзначимо, що вона має такі властивості:

а) $f(-x) = -f(x)$, тобто функція симетрична щодо нуля;

б) при $x \ll 1$ $f(x) \approx x - \frac{1}{2}x = \frac{1}{2}x$;

в) при $x \gg 1$ $f(x) = \frac{\pi}{2} - \frac{\cos x}{x} - \frac{\sin x}{x^2} + \frac{\cos x - 1}{x} \approx \frac{\pi}{2} - \frac{1}{x} - \frac{\sin x}{x^2}$;

г) $f'(x) = \frac{\sin x}{x} - \frac{\sin x}{x} + \frac{1 - \cos x}{x^2} = \frac{1 - \cos x}{x^2} = \frac{2\sin^2 \frac{x}{2}}{x^2}$.

Точки екстремуму x_l функції $f(x)$ визначимо з умови $\cos x_l = 1$, тобто $x_l = 2\pi l$, $l = 1, 2, \dots$. Ці точки є точками перегину функції $f(x)$, яка монотонно зростає, так як $f'(x) \geq 0$.

Відзначимо важливу обставину: функція $\Phi'(\omega)$ за межами вікна $\Delta\omega$ не має викидів (ні позитивних, ні негативних) і відрізняється від ідеального (прямокутного) спектрального вікна тільки поблизу "країв", в області $\sim 1/T$.

Обчислимо тепер похибку наближення оптимальної спектральної характеристики $\Phi'(\omega)$ до спектральної характеристики ідеального, прямокутного вікна $\Phi_0(\omega)$ вузько-смугового фільтра. Аналогічно формулі (1) запишемо:

$$\Gamma' = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\Phi'(\omega) - \Phi_0(\omega) \right]^2 d\omega. \quad (42)$$

Використовуючи співвідношення (3) і рівність Парсеваля вираз (42) представимо у вигляді:

$$\Gamma' = \pi \int_0^T \left[H'(\tau) - H(\tau) \right]^2 d\tau + \pi \int_T^{\infty} H^2(\tau) d\tau,$$

або

$$\Gamma' = \Gamma + \Delta\Gamma, \quad (43)$$

де функціонал Γ визначається виразом (3.30), а

$$\Delta\Gamma = \pi \int_0^T \left[H'(\tau) - H(\tau) \right]^2 d\tau.$$

Оскільки $\Delta\Gamma > 0$, то, як випливає із виразу (43), справедлива умова $\Gamma' > \Gamma$, що й слід було очікувати заздалегідь (з постановки задачі оптимізації).

Обчислимо величину $\Delta\Gamma$ з урахуванням рівності (15) і (16):

$$\begin{aligned} \Delta\Gamma &= \frac{4\pi}{(\Delta\omega)^2} \int_0^T \cos^2 \omega_0 \tau \sin^2 \frac{\Delta\omega\tau}{2} d\tau = \\ &= \frac{\pi}{(\Delta\omega)^2} \int_0^T (1 + \cos 2\omega_0 \tau)(1 - \cos \Delta\omega\tau) d\tau \approx \frac{\pi\Gamma}{(\Delta\omega)^2} = \Gamma \end{aligned}$$

Тоді, відповідно до рівності (43),

$$\Gamma' = 2\Gamma ,$$

а отже,

$$\delta\Gamma' = 2\delta\Gamma . \quad (44)$$

Висновки. При оптимізації спектральної характеристики вузько-смугового фільтра за мінімумом середньоквадратичної похибки апроксимації ідеального вікна (перша задача оптимізації) застосування фільтра з імпульсною характеристикою $h_{\text{опт}}(\tau)$, відповідно до виразу (9), забезпечує мінімальне середньоквадратичне відхилення $\delta\Gamma$, формула (36), форми спектральної характеристики $\Phi(\omega)$, вираз (30), від ідеальної прямокутної, але в той же час призводить до появи осциляцій, як в смузі аналізу $\Delta\omega$, так і поза нею (рис. 1).

При оптимізації спектральної характеристики фільтра за мінімумом бічних пелюсток при заданій дисперсії оцінки СЦП (друга задача оптимізації) застосування фільтра із імпульсною характеристикою $h'_{\text{опт}}(\tau)$, вираз (14), забезпечує форму спектральної характеристики $\Phi'(\omega)$, формула (40), яка не має осциляцій у всьому діапазоні частот, але при цьому відносна середньоквадратична похибка апроксимації $\delta\Gamma'$ ідеального спектрального вікна збільшується вдвічі, рівність (44). Крім того, функція $h'_{\text{опт}}(\tau)$ забезпечує більш просту технічну реалізацію фільтра.

Відзначимо також, що відносні дисперсії оцінок СЦП $\delta\hat{G}$ і $\delta\hat{G}'$ для обох спектральних характеристик при $T\Delta\omega \gg 1$ (при цьому $\delta\Gamma, \delta\Gamma' \ll 1$) практично однакові та дорівнюють

$$\delta\hat{G} \approx \delta\hat{G}' = \frac{2\pi}{T\Delta\omega} = \frac{1}{T\Delta f} .$$

Таким чином, у результаті постановки та розв'язання задач оптимізації вузько-смугових фільтрів для спектрального аналізу отримані їх спектральні характеристики або функції спектрального вікна, вирази (30) і (40), що дозволяють при заданих значеннях часу вимірювання T і відносній дисперсії оцінки СЦП $\delta\hat{G}$ найкращим чином (оптимальним, кожна в своєму розумінні) апроксимувати ідеальне спектральне вікно вузько-смугового фільтра.

Отже, застосування запропонованих оптимальних фільтрів при спектральному аналізі випадкових сигналів діагностування технічного стану двигунів засобів водного транспорту дозволяє своєчасно виявити можливі несправності чи порушення у режимах роботи (відповідно до заздалегідь відомих, справних). Своєчасне виявлення можливих відмов двигунів засобів водного транспорту дозволить уникнути додаткових витрат під час перевезення вантажів, тобто зменшити додаткові (непланові) витрати.

ЛІТЕРАТУРА

1. С. В. Герасимов, Ю. Є. Шапран, та В. В. Кірвас, “Розробка та дослідження методу розрахунку достовірності вимірювального контролю параметрів радіотехнічних систем морського транспорту”, *Системи озброєння і військова техніка*, вип. 4 (52), с. 5 – 10, 2017.

2. “Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте”, *Материалы второй всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Омск, Омский гос. ун-т путей сообщения*, 2016, с. 368.

3. В. Н. Чинков, та С. В. Герасимов, “Комплексная методика оптимизации контролируемых параметров сложных технических объектов”, *Украинский метрологический журнал*, № 1, с. 11 – 15, 2003.

4. С. В. Герасимов, “Постановка проблеми розробки оптимальної методики контролю параметрів технічних систем при експлуатації за станом”, *Системи обробки інформації*, вип. 9 (116), с. 7 – 11, 2013.

5. Б. О. Демідов, М. В. Борисенко, та С. В. Герасимов, “Методи оптимального вибору та розміщення засобів вимірювання в складі мобільної інформаційно-вимірювальної системи”, *Системи озброєння і військова техніка*, № 2 (46), с. 74 – 78, 2016.

1.5. Принципи побудови автоматичних приладів для контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту

Вступ і постановка задачі. Системи управління та навігації засобів водного транспорту призначені для забезпечення контролю за значеннями параметрів, які характеризують їх рух. Додержання оптимального маршруту водного транспорту у складних метеорологічних умовах, у ночі майже неможливий без навігаційних приладів, які здатні визначати інформацію про положення засобу водного транспорту на маршруті, напрямок його руху тощо. При додержанні заздалегідь прокладеного маршруту за даними навігаційних приладів (при їх справності та потрібної точності визначення параметрів) забезпечується не тільки економність вантажоперевезень, але й безпека судноплавства [1, 2].

Під час додержання потрібного маршруту руху використовуються наступні навігаційні прилади, що є у складі засобів водного транспорту:

- компаси різного призначення;
- гіроазимути;
- автопрокладчікі;
- лаги, лоти, ехолоти;
- секстант.

Ці навігаційні прилади призначені [2]:

- для вимірювання параметрів маршруту;
- для визначення місця розташування.

Правильність показань навігаційних приладів залежить від їх технічного стану, який може змінюватися під час експлуатації, особливо в умовах агресивного морського оточення. Тому необхідна апаратура контролю технічного стану навігаційних приладів засобів водного транспорту.

Реалізація існуючого способу визначення характеристик навігаційних приладів засобів водного транспорту ґрунтується на застосуванні генераторів сигналів синусоїдної форми. Однак такі генератори не дозволяють оперативно контролювати технічний стан навігаційних приладів засобів водного транспорту, мають значний час вимірювання параметрів за рахунок послідовного встановлення необхідних частот вимірювального сигналу. Для уникнення такого недоліку пропонується застосування вимірювальних сигналів складної форми [3].

Так, кращими можливостями щодо управління спектром вимірювального сигналу володіють сигнали складної форми. Отже, необхідно обґрунтувати

принципи побудови автоматичних приладів для контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту.

Основна частина.

Апаратура контролю систем управління та навігації засобів водного транспорту включає генератор вхідних стимулюючих впливів (тест-сигналів), вимірювальний пристрій, що дозволяє визначати вихідну реакцію об'єкту контролю на вхідний стимулюючий сигнал, пристрій обробки інформації та пристрій реєстрації [3, 4].

Системи управління та навігації засобів водного транспорту, для яких призначена апаратура контролю, містить здебільшого інерційні блоки з характерними сталими часу у діапазоні ($10^{-2} \dots 10^2$) сек., тобто їх найбільш суттєві характеристики лежать в діапазоні інфранизьких частот. Тому контрольна апаратура повинна бути призначена для робіт у інфранизькочастотному діапазоні. Відомо, що в діапазоні інфранизьких частот апаратура дискретної дії має цілий ряд переваг порівняно з апаратурою безперервної дії [5]. Ці переваги виявляються досить суттєвими при конструюванні всіх функціональних блоків апаратури контролю: генератора вхідних стимулюючих сигналів, вимірювального пристрою, пристрою обробки інформації та вихідного реєструючого пристрою.

Генератори дискретної дії, засновані на перетворенні коду в аналог, дозволяють суттєво знизити похибку в формованому сигналі порівняно з широко розповсюдженими та досить повно освітленими в літературі [3, 5] генераторами безперервної дії електромеханічного та електронного типів. Крім того, генератори дискретної дії дозволяють порівняно легко здійснити перехід на різні види формованого сигналу.

Генератори дискретної дії дозволяють також одержати калібровані мітки часових інтервалів, які необхідні для подальшої обробки вихідного сигналу апаратурою аналізатора.

Тому, для формування вхідного стимулюючого сигналу є доцільним використовувати генератори, побудовані на методі перетворення коду в аналог.

При побудові аналізатора також доцільно використовувати апаратуру дискретної дії. Вихідний сигнал контрольованої системи вимірюється в дискретних точках відліку із заданим кроком квантування за часом. У кожній часовій точці вимірювання здійснюється за допомогою перетворювача аналог-код одного з відомих типів [3], що дозволяють отримати високу точність перетворення миттєвих значень вихідної напруги та досить велику швидкодію.

Обробка результатів вимірювань миттєвих значень вихідного сигналу може при цьому здійснюватися за допомогою простого вимірювального пристрою паралельно з вимірюванням вихідного сигналу. Кінцевий результат фіксується в реєстру чому пристрої у цифровому коді. При конструюванні апаратури аналізатора, що реалізує зазначений вище метод обробки вихідного сигналу, можуть бути використані деякі принципи побудови й окремі функціональні блоки, розроблені в роботі. Ці принципи були використані при створенні цифрової вимірювальної апаратури різного призначення [5].

Для формування необхідного сигналу $u(t)$ за допомогою дискретних генераторів, побудованих за принципом перетворення код-аналог, задана крива $u(t)$ апроксимується функцією, яка наближується до заданої, і легко моделюється за допомогою цифро-аналогових дільників напруги. Найпростіше таким способом може бути здійснена ступінчаста, експоненціально-ступінчаста, лінійна й лінійно-ступінчаста апроксимація. Якщо задана крива $u(t)$ є безперервною, то заміна її на апроксимуючу криву природно призводить до методичних похибок. Ці похибки можуть бути оцінені й вибором кількості рівнів квантування можна зробити похибку досить малою [3]. У тих випадках, коли оптимальний сигнал, який необхідно сформувати генератором, являється кусково-постійною або кусково-лінійною функцією, його можна сформувати дискретним генератором без додаткових методичних похибок. З іншого боку, є принципова можливість виключення методичних похибок, що виникають при апроксимації сигналу $u(t)$, навіть у тому випадку, коли оптимальний вхідний сигнал являється безперервною функцією, що гладко змінюється. Замінивши такий сигнал, наприклад, кусково-постійною функцією, ми отримаємо квазіоптимальний сигнал $u^*(t)$. Квазіоптимальний сигнал $u^*(t)$, звичайно, не буде відповідати максимальній чутливості або точності, проте, навіть при відносно грубій апроксимації, заміна оптимального сигналу на квазіоптимальний не призводить до суттєвої втрати чутливості або точності. Оскільки алгоритм обробки вихідного сигналу в принципі може бути розрахований для будь-якого вихідного сигналу, то заміну оптимального сигналу на квазіоптимальний можна врахувати відповідною зміною алгоритму обробки вихідного сигналу. Сказане необхідно мати на увазі, оскільки така груба апроксимація оптимального вхідного сигналу дозволяє в багатьох випадках спростити схему реалізацію генератора вхідних сигналів за рахунок зменшення кількості дискретних вимірювань за рівнем і часом, без суттєвого ускладнення алгоритму обробки вихідного сигналу.

В інших випадках, наприклад, при синусоїдному вхідному сигналі, груба апроксимація тому є недоцільною.

Функціональна схема генератора, побудованого на принципі перетворення коду в аналог, показана на рисунку 1. Схема складається з генератора еталонної частоти ГІ, подільника частоти Д з змінним коефіцієнтом ділення, перетворювача коду в аналог (ПКА) та підсилювача постійного струму (ППС).

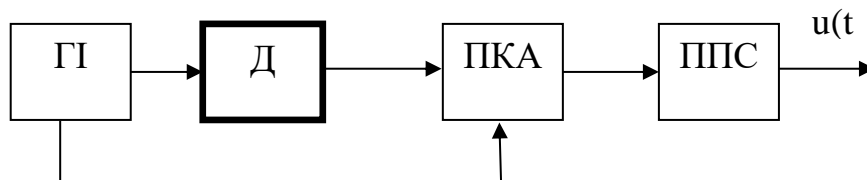


Рис. 1. Схема генератору на принципі перетворення коду в аналог

Дільник частоти зі змінним коефіцієнтом ділення дозволяє отримувати часові мітки з заданим часовим інтервалом між ними. Ці часові мітки використовуються за опорні точки при формуванні напруги перетворювача код-аналог. Дільник частоти можна виконати на тригерах, з'єднаних послідовно або об'єднаних у декади. Їх кількість визначається вимогою отримання необхідної дискретності зміни тривалості часових інтервалів при заданій частоті ГІ. Дільник складається із послідовно з'єднаних декад з тригерів. Для отримання коефіцієнта ділення q до дільника частоти вводиться кількість $10 - q$, де n – кількість декад. Це здійснюється декадними перемикачами. Різні положення перемикача дозволяють здійснити попереднє рішення з заданим постійним коефіцієнтом розподілу, тобто змінювати дискретність відліку часових інтервалів. Ланка зворотного зв'язку забезпечує циклічну роботу дільника та використовується при формуванні періодичних кривих.

Перетворювач коду в аналог являє собою матричний дешифратор, керований n -розрядним двійковим лічильником, на вхід якого надходять імпульси з дільника частоти. До виходу дешифратора підключається за допомогою діодних або транзисторних ключів набір вагових опорів. Якщо формована крива симетрична відносно максимуму, то можна використовувати для керування ключами реверсивний лічильник, що дозволяє зменшити кількість необхідних вагових опорів.

Розглянемо за приклад схему перетворювача з транзисторними ключами К (рис. 2). Еквівалентна схема перетворювача при відкритому ключі в i -й

ступені може бути представлена так: r_i – ваговий опір i -й ступені; r_e – еквівалентний опір паралельних гілок перетворювача з закритими ключами; r_H – опір навантаження; u_i – відповідна вихідна напруга перетворювача.

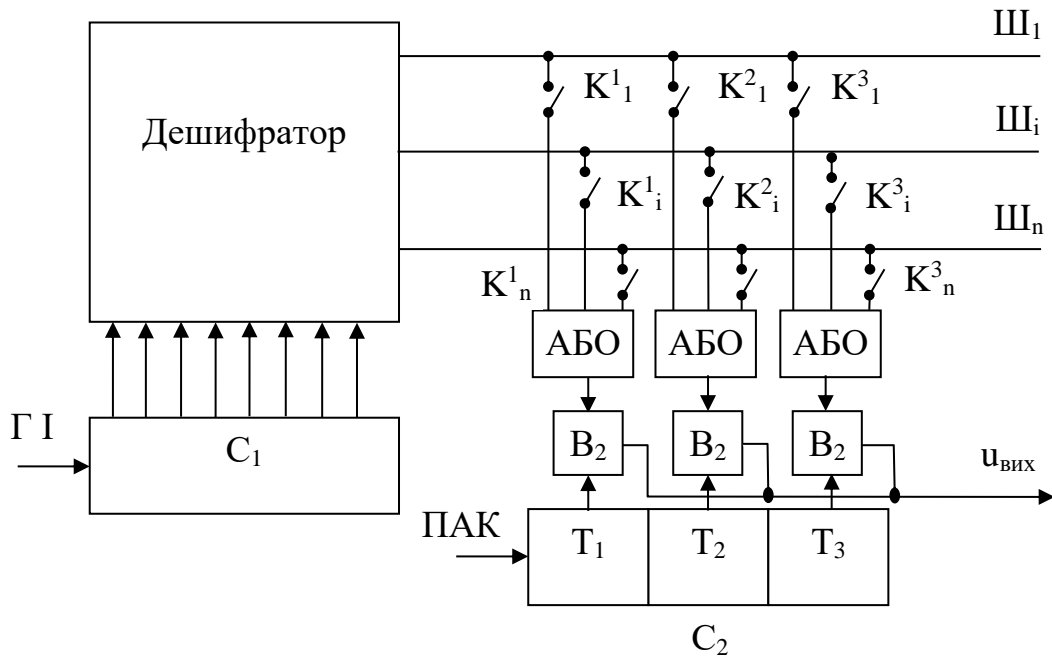


Рис. 2. Схема перетворювача сигналу

При цьому вихідна напруга дорівнює:

$$u_i = - \frac{U_0 r_H}{\frac{r_i r_e}{r_i + r_e} + r_H} \quad (1)$$

Позначимо через r_{\min} – мінімальне, а через r_{\max} – максимальне значення вагових опорів. При зміні вагових опорів від r_{\min} до r_{\max} вихідна напруга буде змінюватися в межах

$$\text{від } u_{\min} = - \frac{U_0 r_H}{\frac{r_{\min} r_e}{r_{\min} + r_e} + r_H} \text{ до } u_{\max} = - \frac{U_0 r_H}{\frac{r_{\max} r_e}{r_{\max} + r_e} + r_H},$$

так що діапазон зміни вихідної напруги дорівнює $\Delta U = U_{\max} - U_{\min}$.

Сформовану перетворювачем напругу можна представити у вигляді:

$$u_i = \Delta U f(t_i) + u_{\min} \quad (2)$$

Причому найменше значення функції $f(t)$ дорівнює нулю, а найбільше – одиниці. Величина ΔU є змінна, а u_{\min} – постійна складові сформованої напруги. Величину вагового опорів i -й ступеня визначимо, підставивши в (2) вираз (1):

$$r_i = r_e \left| \frac{1 + \frac{\Delta U_f(t_i) + u_{\min}}{U_0}}{1 + \frac{r_e + r_H}{r_H} \frac{\Delta U_f(t_i) + u_{\min}}{U_0}} \right|. \quad (3)$$

Ефективність перетворення можна охарактеризувати коефіцієнтом перетворення k , який дорівнює відношенню максимального та мінімального значень формованої напруги:

$$k = \frac{|u_{\max}|}{|u_{\min}|} = \frac{1 + \frac{r_H}{r_e} - \frac{r_e}{r_{\max} + r_e}}{1 + \frac{r_H}{r_e} - \frac{r_e}{r_{\min} + r_e}}. \quad (4)$$

Як видно з виразів (3) і (4), у межі при $r_{\max} \rightarrow \infty$ і $r_{\min} \rightarrow 0$ величина k дорівнює: $k = 1 + \frac{r_e}{r_H}$. Тому відношення $\frac{r_H}{r_e}$ слід обирати можливо меншим. З іншого боку, зрозуміло, що коефіцієнт буде тим більше, чим менша величина r_{\min} . При $r_{\min} \ll r_e$ вираз для k буде мати вигляд:

$$k \approx \frac{1 + \frac{r_H}{r_e} - \frac{r_e}{r_{\max} + r_e}}{\frac{r_H}{r_e} + \frac{r_{\min}}{r_e}}. \quad (5)$$

При значеннях r_{\max} порядку або r_e величина k , як видно з (5), може бути значно більша одиниці. Настільки великі значення r_{\max} , однак, важко реалізувати, оскільки r_e визначається більшими опорами ланки колектор-емітер транзисторів у закритому стані. Проте й при досить реальних значеннях r_{\max} можна отримати чималі значення k . Так, наприклад, для перетворювача при значеннях $r_{\min} = 2 \cdot 10^3$ Ом, $r_H = 2 \cdot 10^3$ Ом, $r_e = 10^5$ Ом, $r_{\max} = 15 \cdot 10^3$ Ом, величина k дорівнює: $k = 4,25$ Ом.

Як видно з виразу (3) значення вагових опорів r_i і їх кількість визначаються видом сформованої кривої $f(t)$ й кількістю часових опорних точок. Даний набір вагових опорів дозволяє отримати криві необхідної форми, а наявність дільника частоти зі змінним коефіцієнтом розподілу дозволяє формувати цю криву в потрібному масштабі часу. Для формування кривих різної форми необхідна відповідна зміна набору вагових опорів. З цією метою можна до кожного i -ступеня включити набір каліброваних опорів, які обираються за допомогою перемикача. Такий шлях може виявитися доцільним,

коли достатня груба апроксимація форми оптимального сигналу, і кількість ступенів будуть невеликими. За потреби точної апроксимації кривих різної форми необхідно мати комплект наборів вагових опорів.

У багатьох випадках оптимальний стимулюючий сигнал являє собою кусково-постійну функцію $u(t) = \pm U$ з точками перемикання t_i (у загальному випадку не рівновіддаленими). Для формування такого сигналу може бути використана наступна схема.

Схема складається з дільників частоти з постійним коефіцієнтом розподілу, дільників частоти зі змінним коефіцієнтом розподілу та декадних перемикачів. Дільники частоти з постійним коефіцієнтом розподілу спільно з перемикачем дозволяють отримати необхідну дискретність відліку часових інтервалів. За допомогою декадних перемикачів у дільник частоти вводиться паралельним кодом число, яке забезпечує появу на виході дільника імпульсу V_1 у заданий проміжок часу t_1 . Цей імпульс через відкритий клапан та декадні перемикачі вводять у дільник число, яке забезпечує появу на виході дільника імпульсу V_2 у момент часу t_2 . Одночасно імпульс V_1 перекидає тригери, закриваючи клапан одного каналу та відкриваючи клапан другого каналу. Імпульс V_2 перекидає тригери, закриваючи клапан, а також декадні перемикачі вводять у дільник частоти число, що забезпечує появу на виході дільника імпульсу V_3 у момент часу t_3 тощо. Кількість декад дільника визначається необхідною дискретністю відліку часових інтервалів. Так, дільник частоти з двох декад дозволяє отримувати дискретність відліку в $0,01 \Delta t$, де величина інтервалу Δt залежить від положення перемикача та визначається дільниками частоти з постійними коефіцієнтами розподілу.

Відзначимо, що при побудові генератора для формування сигналу з наперед заданими інтервалами перемикання замість декадних перемикачів можуть бути використані діодні схеми введення доповнення [3], що дещо спрощує конструкцію приладу.

Розглянемо функціональні схеми автомата контролю, який засновано на спрощених алгоритмах обробки вихідного сигналу.

Застосування спрощених алгоритмів обробки вихідного сигналу дозволяє суттєво спростити функціональну схему автоматичного приладу контролю. Таке спрощення сплачується, звісно, деякою втратою захисту від перешкод порівняно з оптимальним методом обробки вихідного сигналу. Разом з тим при використанні спрощених методів обробки вихідного сигналу [3] (визначення середнього або середньоквадратичного значення вихідного сигналу

неузгодження) може бути забезпечена при великій кількості відліків вихідного сигналу достатньо високий захист від перешкод.

Захист від перешкод при використанні спрощених методів обробки вихідного сигналу забезпечується, по-перше, за рахунок фільтрації (хоча й не оптимальної) перешкоди при усередненні та, по-друге, за рахунок вибору вхідного сигналу, який забезпечує найменшу можливу в цьому методі похибку визначення даного параметра. Оптимальний та спрощений методи обробки вихідного сигналу співвідносяться між собою так само, як кореляційний та накопичувальний метод у теорії оптимального прийому сигналів.

Середнє апостеріорне значення відхилення величини z від номінального значення, при вимірюванні середнього значення вихідного сигналу, тобто величина апостеріорної оцінки z^* дорівнює

$$z^* = \Delta \bar{y} \frac{\sum_{i,j=1}^N Q_{ij} \alpha_i c_j}{\sigma^2 + \sum_{i,j=1}^N Q_{ij} c_i c_j}, \quad (6)$$

де $\Delta \bar{y}$ – є середнє значення сигналу неузгодженості на виході об'єкта контролю:

$$\Delta \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta y(t_i) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y(t_i) - y_H(t_i)]. \quad (7)$$

Величини c_j є середніми за часом вимірювання значеннями функцій чутливості:

$$c_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_j(t_i). \quad (8)$$

Величини Q_{ij} – матричні елементи кореляційної матриці параметрів системи:

$$Q_{ij} = \langle \Delta q_i \Delta q_j \rangle. \quad (9)$$

Величини α_i визначають залежність величини z від параметрів системи контролю q_j :

$$z = \sum_{j=1}^N \alpha_j \Delta q_j. \quad (10)$$

Зокрема, якщо вимірюється один з параметрів системи, наприклад, $z = q_j$, то $\alpha_i = 1$; при $j \neq i$.

Величина σ^2 визначається дисперсією перешкоди σ_{Δ}^2 і дорівнює $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sigma_{\Delta}^2$. Оскільки величини $\alpha_i, c_j, Q_{ij}, \sigma^2$ відомі, то величина множника, який стоїть у (6) перед величиною $\Delta \bar{y}$, може бути обчислена заздалегідь. Позначимо цей множник через k і запишемо (6) у вигляді:

$$z^* = k \Delta y = k \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y(t_i) - y_n(t_i)], \quad (11)$$

$$\text{де } k = \frac{\sum_{i,j=1}^N Q_{ij} \alpha_i c_j}{\sigma^2 + \sum_{i,j=1}^N Q_{ij} c_i c_j}. \quad (12)$$

Таким чином, значення результату вимірювання $\Delta \bar{y}$ з точністю до відомого множника співпадає з величиною z^* , що підлягає під визначення в результаті контролю.

Для лінійних систем вираз для величини k може бути спрощено:

$$k = \frac{\lambda \sum_{i,j=1}^N Q_{ij} \alpha_i c_j}{\sigma^2 + \lambda^2 \sum_{i,j=1}^N Q_{ij} \alpha_i \alpha_j}. \quad (13)$$

Величина λ не залежить від перешкоди і визначається вхідним сигналом. Величина λ пропорційна амплітуді вхідного сигналу). При $\sigma^2 = \frac{\sigma_{\Delta}^2}{n} \ll \lambda^2 \sum_{i,j=1}^N Q_{ij} \alpha_i \alpha_j$ (ця нерівність може виконуватися, зокрема, при значних n) величина k не залежить від величини перешкоди і дорівнює:

$$k \approx \frac{1}{\lambda}. \quad (14)$$

Реалізація алгоритму (11) може бути виконана двома способами. По-перше, можна в кожній точці вимірювання t_i визначати різницю $\Delta y(t_i) = y(t_i) - y_n(t_i)$, а потім підсумувати отримані різниці. Для реалізації цього способу необхідно отримувати в кожній точці вимірювання t_i значення номінального сигналу об'єкта контролю $y_n(t_i)$, для чого треба мати або модель об'єкта контролю з номінальними значеннями параметрів, або відповідний запам'ятовуючий пристрій. По-друге, можна переписати співвідношення (11) у вигляді:

$$z^* = k' \sum_{i=1}^n y(t_i) - z^0, \quad (15)$$

де $k' \approx \frac{1}{n} k$; $z^0 = \frac{k}{n} \sum_{i=1}^n y_n(t_i)$.

Так як величина z^0 відома, то у відповідності з формулою (15) для визначення величини z^* необхідно фактично вирахувати суму миттєвих значень вихідного сигналу, а значення z^0 , яке відповідає номінальному сигналу, завести попередньо у вихідний лічильник реєстрації. Другий спосіб вимагає порівняно з першим більшого об'єму лічильника при однаковій точності визначення величини z^* , оскільки величини $k' \sum_{i=1}^n y(t_i)$ і z^0 можуть бути одного порядку величини, однак, позбавляють від необхідності мати модель об'єкта контролю або пристрій пам'яті. Оскільки збільшення об'єму лічильника технічно реалізувати вельми просто, то, мабуть, другий спосіб є більш доцільним.

На рисунку 3 показана функціональна схема приладу контролю, яка реалізує алгоритм (15).

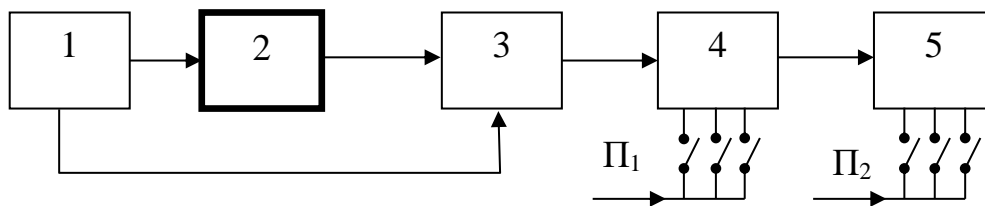


Рис. 3. Схема приладу контролю згідно алгоритму (15)

На функціональній схемі (рис. 3) показані генератор вхідного сигналу 1, об'єкт контролю 2, перетворювач аналог-код 3, подільник частоти або розмножувальний пристрій 4 та вихідний лічильник реєстрації 5. Перемикач Π_1 , служить для установки коефіцієнта множення k' у відповідності з формулою (15). Перемикач Π_2 служить для вводу у вихідний лічильник реєстрації 5 значення величини z^0 . Перетворювач аналог-код запускається синхронізуючими імпульсами, які поступають з генератора вхідних сигналів 1. Всі вузли приладу аналогічні описаним раніше і були використані при конструюванні та створенні дослідних зразків цифрових аналізаторів та вольтметрів [4]. Конструкція генератора 1 залежить від форми вхідного сигналу й у значній мірі визначається обмеженнями, накладеними на вхідний сигнал.

Зокрема, при контролі параметрів лінійних систем при обмеженій амплітуді вхідного сигналу, вхідний сигнал, що забезпечує найменшу похибку розглянутого методу контролю, являє собою кусково-постійну функцію $u(t) = \pm U$ з точками перемикання. У цьому випадку генератор вхідних сигналів може бути виконаний у відповідності з описаною вище функціональною схемою (рис. 2).

Використання спрощеного методу обробки вихідного сигналу, який заснований на вимірюванні середньоквадратичного вихідного сигналу неузгодження

$$U^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\Delta y_H(t)]^2$$

дозволяє отримати інформацію про величину сумарного середньоквадратичного відхилення параметрів системи:

$$z = \sum_{k=1}^N (\beta_k \Delta q_k^2),$$

де β_k – коефіцієнти ваги, величини яких повинні встановлюватися з міркувань “значущості” відповідного параметра.

Метод захисту від перешкод при досить великій кількості відліків n може бути дуже ефективним. Разом з тим метод має, якщо можна так сказати, методичну нечутливість (за аналогією із терміном “методична похибка”). Ця нечутливість проявляється у тому, що значення середньоквадратичного сигналу неузгодження дозволяє у зальному випадку визначити нижню z_{\min} і верхню z_{\max} межі, між якими укладено значення сумарного середньоквадратичного відхилення параметрів z . “Зона нечутливості” $z_{\max} - z_{\min}$ не може бути зменшена збільшенням кількості відліків і підвищенням захисту від перешкод. Величина “зони нечутливості” визначається структурою об’єкта контролю та вхідним стимулюючим сигналом і для кожного конкретного об’єкта вибором вхідного сигналу її можна максимально звузити.

Питання про доцільність застосування методу в значній мірі залежить від того, наскільки мала “зона нечутливості”, та повинен вирішуватися окремо для кожного об’єкта контролю.

Функціональна схема приладу контролю, що реалізує розглянутий метод контролю, представлена на рисунку 4.

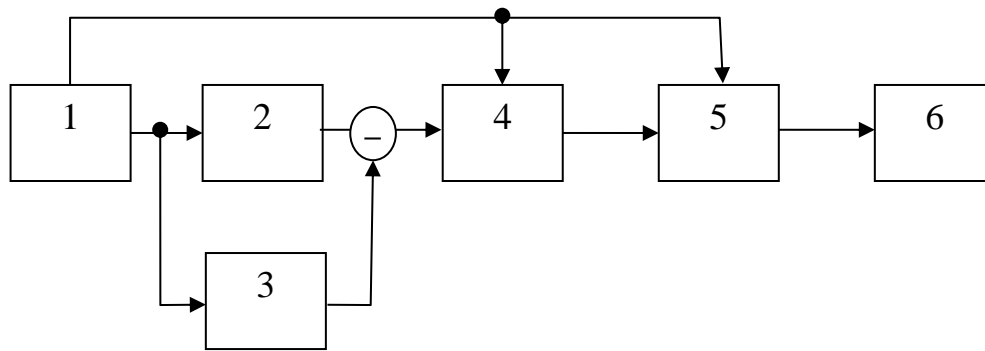


Рис. 4. Схема приладу контролю із захистом від завад

На рисунку 4 показані генератор вхідного сигналу 1, об'єкт контролю 2, модель об'єкта контролю з номінальними значеннями параметрів 3. Замість моделі об'єкта контролю може бути використаний запам'ятовуючий пристрій – генератор, який формує номінальні значення вихідного сигналу $y_n(t_i)$. Перетворювач аналог-код 4, робота якого синхронізується генератором вхідних сигналів 1, арифметичний пристрій виконуючий операцію зведення в квадрат і вихідний пристрій реєстрації 6. Головні вузли функціональної схеми (рис. 4) можуть бути виконані аналогічно вузлам цифрового вольтметра для визначення діючих значень [4]. Арифметичний пристрій, що виконує операцію зведення в квадрат, на відміну від пристроїв, використаних у цифрових вольтметрах [4], може бути спрощено при використанні схеми множення. Так, якщо в регістрі розмножувального пристрою зафіксовано якесь, то кількість імпульсів M на виході пристрою множення зв'язана з кількістю імпульсів N , що поступає на вхід лічильника-дільника C , згідно співвідношенням (6):

$$M = 2^{-n} DN.$$

Якщо число, яке зафіксоване в регістрі, під час надходження імпульсів на лічильник змінюється, то повна кількість імпульсів M на виході розмножувального пристрою можна записати так:

$$M = \sum_i D_i \Delta N_i 2^{-n}, \quad (16)$$

де ΔN_i – кількість імпульсів, які надійшли на вхід лічильника за час, коли показання лічильника D не змінюються, тобто за час між двома послідовними імпульсами, які приходять у регістр. Так, якщо кількість імпульсів, що надходять на лічильники за фіксовані інтервали часу пропорційні один одному, наприклад, частота проходження імпульсів N у k разів більше частоти імпульсів D , то зі співвідношення (16) отримаємо:

$$M = 2^{-n}(k + 2k + \dots + Nk) = \frac{k}{2}(N+1)N = 2^{-n} \frac{k}{2} N^2 \left(1 + \frac{1}{N}\right), \quad (17)$$

де N – повна кількість імпульсів, що надходить на вхід лічильника C .

З точністю до дискретності можна знехтувати величиною $1/N$ порівняно з одиницею, так що остаточно отримаємо:

$$M \approx \frac{k}{2^{n+1}} N^2. \quad (18)$$

Таким чином, схема (рис. 4) дозволяє при безперервному надходженні імпульсів на лічильники виробляти з точністю до постійного множника зведення кількості імпульсів у квадрат. Найбільш просто реалізується схема зведення в квадрат при паралельному надходженні імпульсів на обидва лічильника, тобто при $k = 1$. Тоді

$$M = \frac{1}{2^{n+1}} N^2.$$

Відзначимо, що безперервна робота розмножувального пристрою у відповідності з формулою (17) була використана в одному з варіантів приладу контролю при синусоїдному вхідному сигналі (рис. 5), де величина ΔN_i була пропорційна миттєвому значенню вихідної напруги $y(t_i)$, а величина D_i була пропорційна $\sin \alpha_i$ або $\cos \alpha_i$, так що величина M на виході розмножувального пристрою була пропорційна

$$M \cong \begin{pmatrix} \sin \alpha_i \\ \cos \alpha_i \end{pmatrix} \sum_i y(t_i).$$

Для отримання середньоквадратичного значення вихідного сигналу описаним вище способом, тобто для отримання величини $\sum_i N_i^2$, де N_i – кількість імпульсів, які поступають з виходу перетворювача аналог-код 4, пропорційна миттєвому значенню величини $\Delta y(t_i)$. розмножувальний пристрій 5 має повертатися у вихідний, нульовий стан перед приходом кожної пачки імпульсів N_i .

Скидання розмножувального пристрою на схемі (рис. 4) здійснюється імпульсами, що поступають з генератора вхідного сигналу 1.

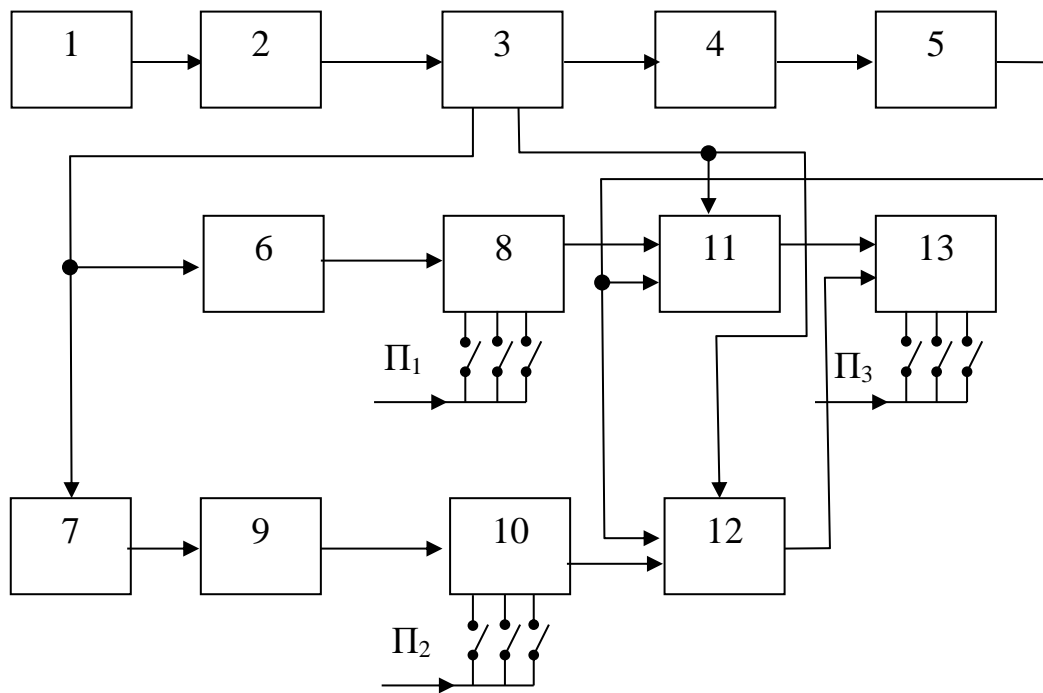


Рис. 5. Схема приладу контролю при синусоїдному сигналі

Метод контролю, заснований на визначенні середньоквадратичного значення вихідного сигналу неузгодженості доцільно використовувати в тих випадках, коли необхідно отримати узагальнену, інтегральну оцінку стану об'єкту контролю, оскільки він дає інформацію ні про кожний окремий параметр системи, а про сумарне середньоквадратичне відхилення параметрів. Цей метод може застосовуватися у комбінації з описаними вище методами, які дозволяють визначати відхилення кожного з параметрів системи окремо. При цьому для визначення відхилень невеликої кількості найбільш значимих параметрів можуть застосовуватися викладені вище оптимальні методи обробки вихідного сигналу, або метод, який використовує визначення середнього значення вихідного сигналу, а для визначення сумарного середньоквадратичного відхилення всіх параметрів можна використовувати метод визначення середньоквадратичного значення вихідного сигналу неузгодженості.

Висновки. Прилади контролю систем навігації та управління засобів водного транспорту за своїм функціональним призначенням складається з апаратури генератора вхідних вимірювальних впливів і апаратури, яка призначена для аналізу параметрів вихідного сигналу об'єкту контролю. Обґрунтована доцільність і можливість побудови такої апаратури на базі цифрової дискретної техніки. Застосування цифрової дискретної апаратури контролю дозволяє реалізувати оптимальні методи контролю, забезпечує

високу швидкодію та точність контролю. Застосування такої апаратури дозволяє автоматизувати процес контролю. Принципи побудови та створені на основі цих принципів генератори вхідних сигналів дозволяють формувати вхідний сигнал потрібної форми з необхідним ступенем точності. Розглянуті принципи побудови та різні варіанти конструкції, які реалізують оптимальний алгоритм обробки вихідного сигналу об'єкта контролю. Імітаційна модель одного з варіантів такого приладу підтвердила правильність покладених в його основу принципів і показали високу точність і надійність роботи. Розглянуті варіанти побудови приладу контролю, в яких проводиться обробка вихідного сигналу на основі спрощених алгоритмів, що дозволяють суттєво спростити прилади контролю при одночасному збереженні достатньо високого захисту від перешкод.

З метою підвищення оперативності контролю може бути використаний комбінований метод, при якому для визначення відхилень невеликої кількості найбільш суттєвих (значимих) параметрів застосовується оптимальний метод обробки вихідного сигналу, або, який використовує визначення середнього значення вихідного сигналу, а для інтегральної оцінки уходів всіх інших параметрів – метод, заснований на визначенні середньоквадратичного значення вихідного сигналу неузгодження.

ЛІТЕРАТУРА

1. С. В. Герасимов, Д. В. Макарчук, та О. І. Костенко, “Модель похибок навігації в аномальному гравітаційному полі землі”, *Зб. наук. пр. Харківського національного університету Повітряних Сил*, вип. 3 (57), 2018, с. 109 – 114.

2. М. В. Борисенко, С. В. Герасимов, О. І. Костенко, та Д. В. Макарчук, “Розробка оптимального алгоритму обробки навігаційної інформації”, *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 3(32), с. 38 – 44, 2018.

3. С. В. Герасимов, О. А. Дакі, та М. Ю. Яковлев, “Синтез полігармонійного вимірювального сигналу з будь-якою кількістю точок перемикання”, *Вимірювальна техніка та метрологія*, №79 (2), с. 73 – 76, 2018.

4. В. Н. Чинков, и Ю. А. Крыхтин, “Адаптивный метод нахождения модуля амплитудного значения полигармонического сигнала”, *Системы обработки информации*, вип. 2(42), с. 141 – 145, 2005.

5. О. М. Тимощук, О. А. Дакі, та О. М. Коломієць, “Обгрунтування застосування сигналів з нормованим спектром для контролю технічного стану радіонавігаційних приладів засобів водного транспорту”, *Новітні технології*, вип. 2(6), с. 39 – 45, 2018.

ГЛАВА 2

ПРОГРАМУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

2.1. Інформаційна технологія оптимізації технологічного процесу відновлення та зміцнювання поверхонь валів зі сталі як хмарний сервіс

Вступ та постановка задачі. Сучасні лінії відновлення поверхонь деталей працюють в умовах гнучкої зміни параметрів проведення технологічних операцій. Тобто у таких умовах, коли самі технологічні процеси відновлення та зміцнювання поверхонь, у свою чергу можуть змінюватися іншими технологіями відновлення в залежності від видів пошкодження матеріалів та від вимог щодо умов експлуатації кінцевого продукту. В той час, як активно розроблюються інформаційні системи підтримки прийняття рішень для забезпечення оптимізації окремих технологічних процесів [2], систем для вирішення задачі побудови оптимізованого ланцюга технологічних процесів, з вибором більш оптимального процесу серед альтернативних за задачею, не вистачає [5]. Крім того з розвитком комп'ютерних технологій, зростає актуальність використання хмарних технологій в реалізації інформаційних систем. На основі зазначених актуальних проблем в інформаційному забезпеченні експертних систем оптимізації ланцюга технологічних процесів, сформульовано наступну мету, яка розв'язується в роботі: реалізувати хмарну рекомендаційну систему як сервіс (SaaS) з отримання поверхонь валів зі сталі СТ45 із заданими характеристиками на основі комбінації декількох технологічних процесів.

Досягнення поставленої мети вимагає розв'язання низки задач, однак для їх формулювання та визначеності в застосовуваних хмарних інформаційних технологіях, потрібно визначити види та область застосування експертних та рекомендаційних систем для забезпечення оптимізації ланцюга технологічних процесів.

Подальші задачі проблематики побудови інформаційних технологій оптимізації комбінованих технологічних процесів відновлення та зміцнення поверхонь деталей будуть поставлені по розв'язанню поточної задачі реалізації хмарної рекомендаційної системи як сервіс з отримання поверхонь валів зі сталі СТ45 із заданими характеристиками на основі комбінації декількох технологічних процесів.

Основна частина

1. Абстрактний технологічний процес, його властивості та методи переходу до конкретного технологічного процесу

Пошук оптимальних рішень при проектуванні технологічного процесу з кількох відновлювальних операцій над поверхнею зношених валів має ряд особливостей. Технологічний процес має складатися з ланцюга окремих технологічних операцій, коли кожен з процесів за різних причин може бути замінено на технологічний процес на іншій основі, але аналогічний за отриманим результатом. Тобто, кожен етап обробки підготовки поверхні, відновлення, механічної обробки, зміцнення поверхні створює ланцюг технологічних операцій, де кожна операція має можливість бути виконаною кількома методиками. Для кожного з етапів обробки характерна технологічна спадковість, коли використання технологій обробки обмежується за рахунок обмеження, яке накладено попередньою використаною операцією. Проблемою є часткова технологічна спадковість, коли кожні наступні операції частково перекривають кілька попередніх технологічних операцій, що значно ускладнює повний граф можливих ланцюгів проведених операцій. У зв'язку з цим оптимізація процесу відновлення деталей є неможливою до визначення повного ланцюга обробки [5].

Для оптимізації технологічної операції з ланцюга технологічного процесу використовують побудовані експертні системи, загальна структура яких показана на рис. 1. До наведеного абстрактного представлення експертної системи належать наступні різновиди експертних систем: семантичні, фреймові, продукційні, нейромережні. У схемі використано наступні позначення: експерт – фахівець з даної технологічної операції; інженер знань – фахівець, який формалізує знання експертів, відповідає за процес отримання знань та надання їх до бази знань експертної системи; база знань – множина доступних знань що до обраної технологічної операції; система інтелектуального розв'язання – ключовий елемент експертної системи, який на основі наявних знань та вхідних параметрів поставленої задачі надає параметри технологічного процесу з оптимізацією за заданими критеріями (час роботи, доступні матеріали, сукупні грошові витрати); інтерфейс користувача відповідає за взаємодію між комп'ютерними системами та людиною.



Рис.1. Абстрактна експертна система [1]

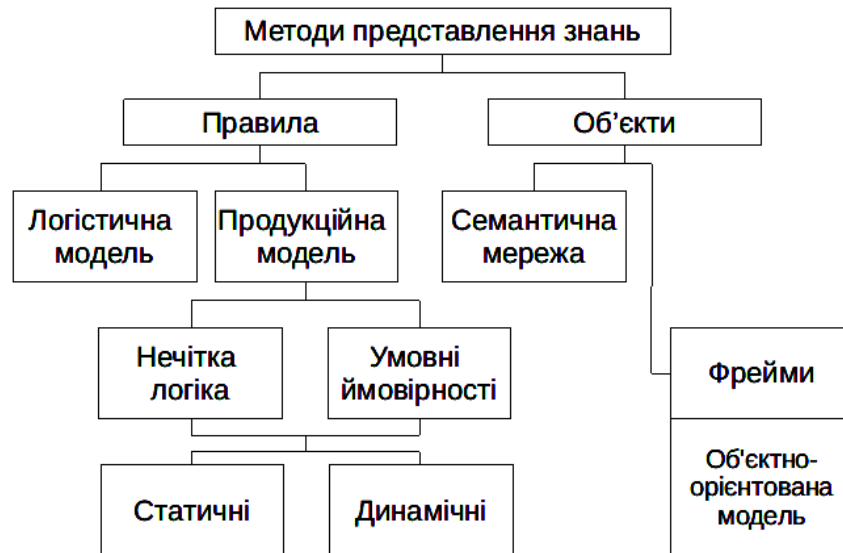


Рис. 2. Методи представлення знань в експертних системах

Розглянемо експертні системи на основі об'єктного підходу за класифікацією методів представлення знань (рис. 2):

1) **Семантичні експертні системи** оперують сутностями та їх атрибутами. Атрибут може мати кількісні характеристики, що відокремлюється до класу властивостей сутностей. Технологічні операції мають сутності у вигляді технічної деталі, коли в процесі відновлення атрибуту цієї деталі потрібно перенести з вхідного діапазону значень до заданих параметрів. Також сутностями до технологічної операції є технологічні інструменти, коли для проведення обробки обираються саме ті, що мають відповідні атрибути із визначеними значеннями цих атрибутів. В процесі рішення система повинна враховувати зношуваність інструментальної бази, відповідно враховувати й вартість інструментів до остаточної вартості проведених операцій. Формально семантичний елемент C_i можна представити наступним чином: $C_i = \langle N_i, S_i, p_i \rangle$, $S_i \subset S$, де N_i – назва сутності; S – множина доступних атрибутів; S_i – множина атрибутів, які відносяться до конкретної сутності. Один атрибут може належати кільком сутностям; p_i – кількісна характеристика атрибуту

(якщо вона є). До недоліків вказаної експертної системи можна віднести ускладнену структуру бази знань, коли система атрибутів не є фіксованою, і може істотно змінюватися від сутності до сутності. Сукупність сутностей та атрибутів може утворювати складні графи залежностей, які описувати в стандартних таблицях релятивних базах даних не зручно.

2) **Фреймові експертні системи** є подальшим розвитком семантичної експертної системи та більше нагадує об'єктний метод опису бази знань. Фрейми формують ієрархію об'єктів, які вони представляють. Фрейм складається з каркасу груп даних – слотів. В якості слотів можуть виступати факти, фрейми нижчі за ієрархією, умови застосування дій та дії, які можуть виконуватися над даними. Формально фрейм може бути представлений наступним чином: $F_i = \langle N_i, S_{1i}, S_{2i}, S_{3i} \rangle$, де N – назва фрейму; S_1 – множина фактів, які визначають декларативну семантику фрейму; S_2 – множина зв'язків, які вказують на інші фрейми; S_3 – множина перетворень, які визначають функціональну семантику фрейму. Фрейми мають спільні риси з об'єктно-орієнтованим методом представлення знань. Спільними рисами є спадковість фреймів, наявність фрейму-зразку – аналогу віртуальних класів або інтерфейсів, фрейм-екземпляр – аналог об'єкту, який є екземпляром класу. Завдяки декларативності та одночасно функціональності фреймових та об'єктно-орієнтованих методів надання знань, ця модель має значну універсальність, також до функціональних можливостей фреймів можна включити математичні регресійні моделі та моделі основані на нейронних мережах та нечіткій логіці. Тому, з причини максимальної відповідності до семантики з предметної області, для опису технічних процесів можна надати перевагу фреймам.

2. Інформаційна модель технологічного процесу та методи її отримання

В процесі побудови експертних систем оптимізації технологічного процесу потрібно пройти наступні етапи: 1. Визначення вхідних-вихідних даних. 2. Складання словника атрибутів, які притаманні обраній технологічній операції. 3. Виявлення об'єктів та понять. 4. Виявлення зв'язків між вхідними керованими та не керованими параметрами технологічної операції. 5. Визначення цілей оптимізації. 6. Визначення стратегій визначення параметрів технологічної операції для досягнення поставлених оптимізаційних задач.

Наведемо ілюстрацію інформаційної моделі технологічного процесу на основі відновлення поверхні електродуговим покриттям. Модель дозволяє

отримати інформацію для розрахунку характеристик які отримуються в результаті обробки. При побудові математичної моделі технологічного процесу зазвичай обмежуються представленням об'єкту дослідження у вигляді “чорного ящика”. В результаті виникає потреба у функціональному пов'язуванні вхідних даних та визначених некерованих величин до параметрів, які вимагаються від технологічного процесу. Для електродугового напилення, як і для більшості технологічних процесів, така функціональна залежність матиме наступний вигляд:

$$\vec{Y} = f\left(\vec{X}, \vec{V}, \vec{Z}, \vec{R}\right), \quad (1)$$

де \vec{X} – контрольовані величини процесу, для цих величин існують обмеження $x_{\min,i} \leq x_i \leq x_{\max,i}$; \vec{V} – відомі але не контрольовані величини процесу; \vec{Z} – невідомі та не контрольовані величини; \vec{R} – випадкові величини, що впливають на процес; \vec{Y} – параметри, які досягаються в процесі технологічної обробки. Випадкова складова є не контрольованою, тому в моделях часто ними нехтують, але в процесі оцінювання адекватності моделі обов'язково робиться пошук надійних інтервалів очікуваних величин з реальними результатами.

Для електродугового напилення величини які задають режим технологічного процесу показані в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри, які задаються при проведенні електродугового напилення

№	Назва параметру	Позначення	Допустимі межі
1	Напруга дуги	x_1	$U=28..34$ В
2	Дистанція напилення	x_2	$L=80..200$ мм
3	Діаметр дроту	x_3	$d=1,2..2,2$ мм
4	Товщина покриття	x_4	$h=0,5..3,0$ мм
5	Тиск в камері	x_5	$P=2..10$ МПа
6	Швидкість ковзання	x_6	$V=2,0..2,75$ м/с

В результаті багатофакторного експерименту з регресією результатів на степеневий поліном маємо математичну модель технологічного процесу, наприклад, для міцності зчеплення (2):

$$y_2 = 94,5537 - 16,1578 \cdot x_1 + 8,66664 \cdot x_2 - 4,37462 \cdot x_3 - 17,2747 \cdot x_4 - 3,92423 \cdot x_5 - 16,0642 \cdot x_6 - 17,0532 \cdot x_2 \cdot x_6 - 22,4759 \cdot x_3 \cdot x_6 - 9,99573 \cdot x_4 \cdot x_6 + 1,41499 \cdot x_5 \cdot x_6 \quad (2)$$

До величин, які відносяться до множини результату технологічного процесу можна включити наступні параметри (табл. 2).

Таблиця 2

Параметри, які потрібно отримати в результаті обробки \vec{Y}

№	Назва параметру	Позначення	Отримані межі
1	Пористість	y_1	<10%
2	Міцність зчеплення	y_2	$\sigma=30..70$ МПа
3	Твердість	y_3	6900..73000 МПа
4	Зносостійкість	y_4	$J_h=11..15$ мкм/км (10^{-12})

Для інших вихідних параметрів також маємо математичні регресійні відношення або правила їх знаходження. Множина відношень (1) та за типом (2) складають математичну модель технологічного процесу.

Надалі побудова експертної системи вимагає наявності відношень для знаходження параметрів які оптимізуються, наприклад: грошові витрати, час обробки та витрачений сирцевий ресурс відповідно:

$$G\left(\vec{Y}\right), T\left(\vec{Y}\right), E\left(\vec{Y}\right), \dots \quad (3)$$

На основі математичної моделі технологічного процесу (2) та відношень рахування витрат на технологічний процес (3) автором побудована експертна система оптимізації технологічного процесу електродугового напилення сталі на поверхні валів з метою їх відновлення (рис. 3) [3].

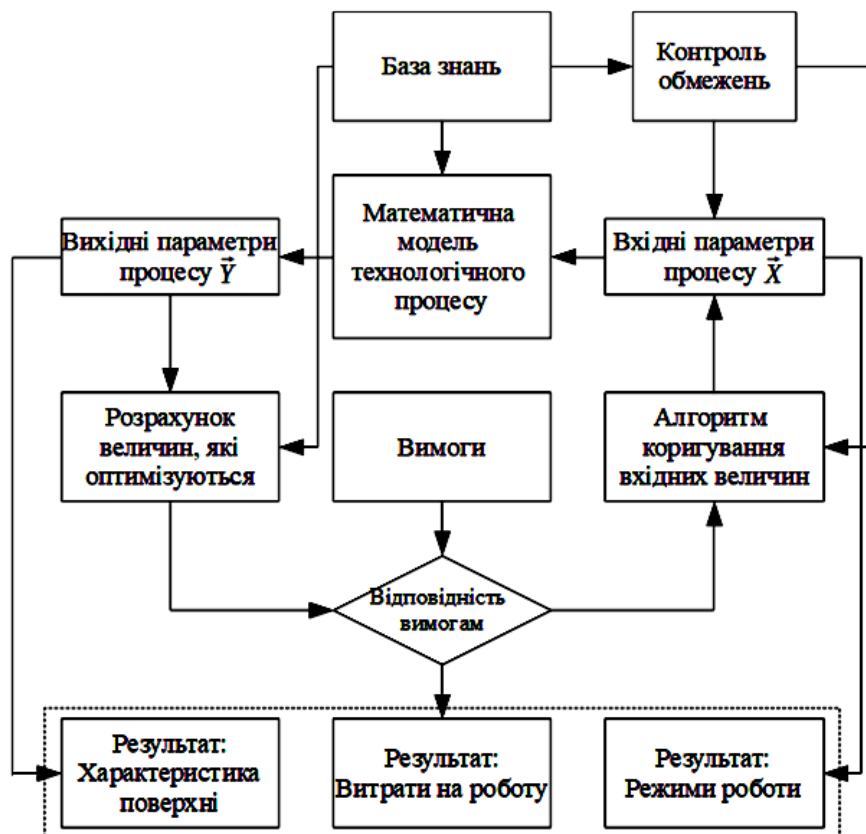


Рис. 3. Діаграма потоку інформації в реалізації експертної системи оптимізації процесу відновлення поверхонь валів електродуговим напленням

Схема передбачає наявність ітераційного пошуку методом поступового покращення результату з початкового припустимого режиму роботи системи. Для більш надійного результату, при наявності значної нелінійності, такий процес можна проводити з кількох початкових точок.

В результаті аналізу інформаційних потоків під час оптимізації технологічного процесу відновлення поверхонь електродуговим напленням, отримано наступні інформаційні одиниці: 1. База знань, яка містить дані: експериментів, допустимі діапазони вхідних даних, список вхідних параметрів, список вихідних параметрів, методи та математичне забезпечення розрахунків витрат на процес. 2. Система отримання вимог до результатів відновлення та критерій (або критерії) оптимізації. 3. Система пошуку екстремумів в багатовимірному просторі. 4. Система перевірки на досягнення результату. 5. Система виявлення “зацикленості” пошуку розв’язків, у випадках недосяжності поставлених вимог. 6. Система введення неконтрольованих вхідних параметрів (в вказаній системі не використано, бо устаткування має контрольоване середовище обробки [3]). 7. Система забезпечення інформаційного потоку між

компонентами експертної системи з врахуванням синхронізації та взаємних блокувань.

Перераховані пункти є складовими інформаційного забезпечення функціонування експертної системи.

3. Абстрактні експертні системи, їх складові

На основі показаної інформаційної моделі технологічної операції електродугового напилення, проведемо формалізацію та узагальнення інформаційної моделі на більшість технологічних операцій відновлення та зміцнення сталевих поверхонь.

Нехай маємо математичну модель технологічного процесу k відновлення поверхонь, який позначимо на основі (1):

$$\vec{Y}_k = f\left(\vec{X}_k, \vec{V}_k, \vec{Z}_k, \vec{R}_k\right), \quad (4)$$

де $\vec{Y}_k \in Y$ – кількісні значення підмножини характеристик поверхонь, яка отримана за результатами технологічного процесу k ; $\vec{X}_k \in X$ – кількісні значення підмножини відомих та контрольованих параметрів окремого технологічного процесу з усіх доступних. Відповідно до попередніх підмножин, позначено підмножини, які відносяться до неконтрольованих та інших вхідних параметрів (1). Відповідно до цього, з причини того, що в загальному випадку невідома кількість даних для побудови математичної моделі технологічного процесу, не можливо заздалегідь визначити методи її побудови. Для цього потрібно доповнити модель додатковими даними та засобами побудов математичних моделей M . Множина застосовних методів побудови математичних моделей процесу позначатиметься $\vec{M}_k \in M$ і буде залежною від наявного набору даних для побудови моделей (5):

$$\vec{M}_k = C\left[M, \underline{y} \text{def} Y_k, \underline{x} \text{def} X_k, \underline{v} \text{def} V_k\right], \quad (5)$$

де def визначає операцію відбору відомих значень які будуть використані для побудови математичної моделі. Таке визначення вибору множини методів побудови математичних моделей обґрунтовано тим, що при великій кількості даних можна для регресії використати методи на основі апроксимацій або нейронні мережі. При малому наборі даних вибір звужується до вибору між методом найменших квадратів, сплайнів або інтерполяційних операцій. Відповідно до цього, операція фільтрування допустимих методів (5) є

необхідною, і при доповненні бази знань, методи математичного моделювання можуть змінюватися. Вибір методу з допустимих F може бути покладено на людину або виконуватися автоматично за заздалегідь внесеними пріоритетами. Фактично, експертна система міститиме в собі вкладену експертну систему математичного моделювання та алгоритмів пошуку максимумів та мінімумів на ній. Результатом дії такої системи є готова математична модель (6):

$$f : \left[\vec{M}_k, y, x, v \right], \quad (6)$$

де f – функція яка використана в (4).

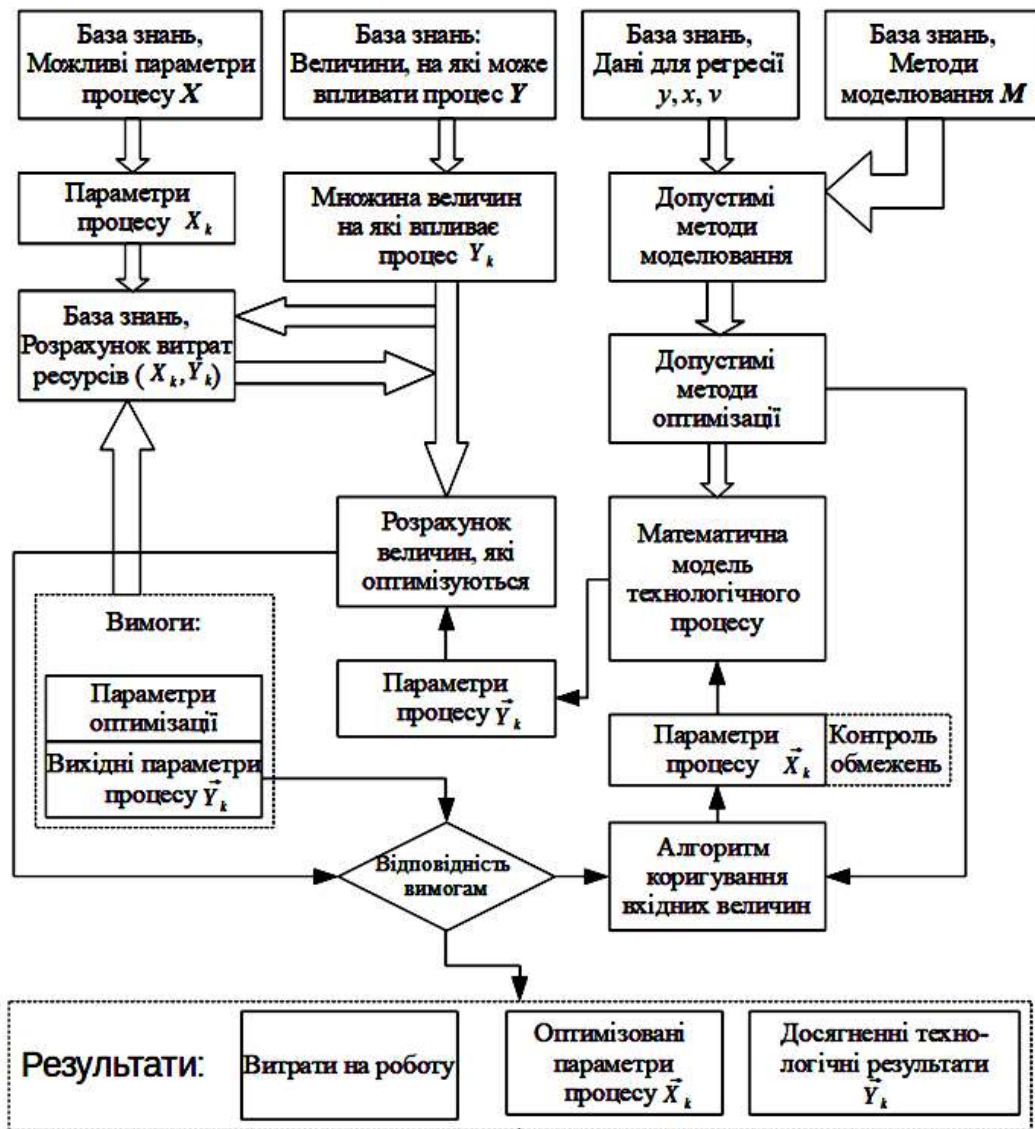


Рис. 4. Діаграма потоку інформації в реалізації узагальненої k-ї експертної системи оптимізації технологічного процесу

Нерідко технологічні процеси є складовими складних, багатоетапних, технологій відновлення або зміцнення поверхонь деталей. В такому випадку

поверхня під час обробки не приймає на виході значення Y_k , а відбувається перетворення властивостей поверхні $\vec{Y}_k \rightarrow \vec{Y}_{k+1}$, при цьому на результат можуть впливати вхідні властивості, як при шліфуванні, або можуть й не впливати, як при електродуговому напиленні. Тому для узагальненої моделі технологічного процесу, модель (4) потрібно доповнити явно вхідними параметрами поверхні, що з врахуванням (5) та (6) надає наступний вираз:

$$\vec{Y}_k = F[C[M, y, x, v]] \left(\vec{X}_k, \vec{V}_k, \vec{Z}_k, \vec{R}_k, \vec{Y}_{k-1} \right) \quad (7)$$

Вказані зауваження та доповнення вимагають внесення змін до діаграми руху інформації (рис. 3) в експертній системі наступним чином (рис. 4)

4. Огляд відомих експертних систем оптимізації технологічних процесів, приведення їх до абстрактного вигляду

В дисертації Лимаренко В.В. [3], представлено розробку інформаційної системи підтримки рішень, до складу якої входить експертна система з оптимізації металорізальних технологічних процесів, інформаційну модель якої показано на рис. 5.

З рисунку можна побачити, що модель містить розглянуті в третьому пункті функції-моделі металорізального процесу, розрахунки параметрів, які можна включити до оптимізації, виділені вхідні та вихідні дані. При цьому до вхідних даних відносяться вимоги до результату обробки та обмеження на ресурси, а до вихідних даних віднесено параметри технологічного процесу та параметри отриманого виробу з витратами на його виробництво.

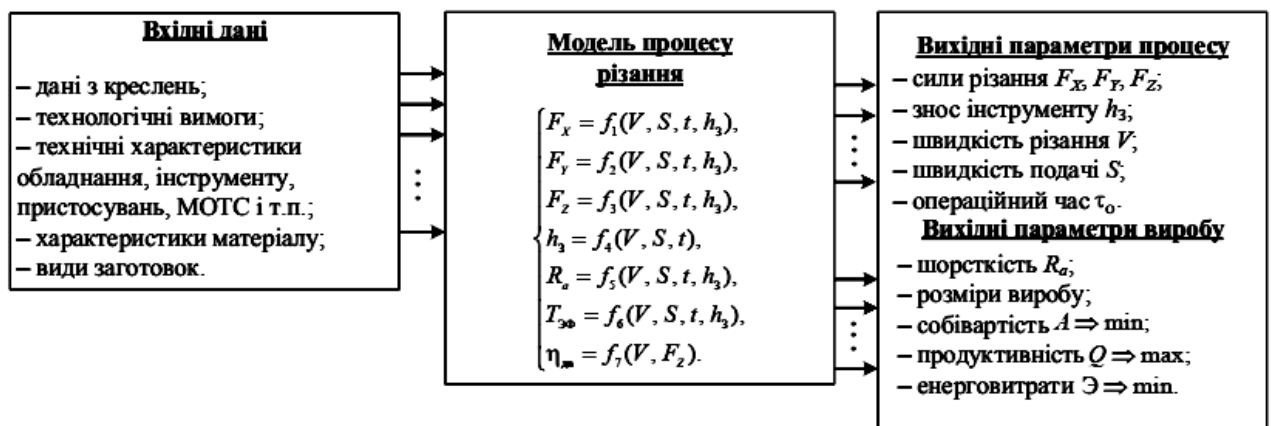


Рис. 5. Модель процесу різання [3]

Можна також відмітити, якщо унікальні параметри включити до множин

M , V , X , та Y то запис у векторній формі (7) також є узагальненням і до металорізальних технічних процесів.

На рис. 4 представлено рух інформації в експертній системі оптимізації технологічних процесів, яка побудована на базі аналізування процесу електродугового напилення. На діаграмі рис. 4. також присутній коловий рух інформації з перевіркою досягнення заданих умов. Наявність такого циклу в ряді методів пошуку оптимуму присутній і в процесах металорізання (рис. 6).

Це свідчить про те, що узагальнення технологічного процесу, принаймні, дозволить отримати інформаційну систему для відновлювальних поверхню деталей операцій, так і для операцій, які використовують металорізання.



Рис. 6. Схема оптимізації технологічного процесу металообробки [3]

5. Формалізація підмножини абстрактних експертних систем оптимізації технологічних процесів

На основі математичного співвідношення (7) та діаграми потоку інформації в узагальненій експертній системі технологічного процесу (рис. 4), проведемо формалізацію. Для цього використаємо наступні позначення множин, які формують базу знань для ряду технологічних процесів:

$S = \langle X, Y, V, M, P, D, G \rangle$, яка включає в себе операцію виділення підмножин елементів, що стосуються окремої технологічної операції k :

1. X_k – множина керованих параметрів технологічного процесу k .
2. Y_k – множина параметрів деталі, які контролює або змінює технологічний процес k .
3. V_k – множина параметрів які не керуються, але потрібно враховувати при виконанні технологічного процесу k .
4. M_k – множина методів отримання математичної моделі технологічного процесу k .
5. $P(m)$, $m \subset P(M_k)$ – обраний екземпляр з методів оптимізації, який застосовний для вказаних математичних моделей, R – операція вибору методу з множини методів. Операція вибору може проводитися автоматично або за вибором розробника експертної системи.
6. D_k – множина функцій розрахунку матеріальних, в тому числі й часових витрат на здійснення технологічного процесу k , за якими може проводитися процес оптимізації. Сюди ж входять лінійні або більш складні комбінації для отримання остаточної багатофакторної вагової оптимізаційної функції.
7. G_k – множина матеріальних ресурсів, які використовує технологічний процес.

Знаком вектору, як це зроблено в третій главі, на відповідних позначеннях, визначаємо конкретний кортеж реальних величин, які відповідають множині обраних величин та характеристик. Тоді за рис. 4 матимемо наступні співвідношення для окремого технологічного процесу k (8):

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{X}_k = m\left(\vec{Y}_k, \vec{V}_k, \vec{Y}_{k-1}, \vec{G}_k\right), \vec{G}_k = D_k\left(\vec{X}_k, \vec{V}_k\right), \left|\vec{G}_k\right| \rightarrow \min, \left|\vec{G}_k\right| = \infty, \\ \text{якщо } \vec{Y}_{k-1} \notin Y_k \end{array} \right. \quad (8)$$

Тут значення нормування має більш широке значення, яке приймає зміст виділення скаляру з вектору матеріальних витрат. Метод виділення скаляру може сильно відрізнятись в залежності від обраного технологічного процесу, але в більшості випадків з цю операцію можна прийняти лінійну комбінацію матеріальних та часових витрат. В разі потреби досягнення максимальності одного з показників, пропонується в лінійній комбінації використовувати від'ємні коефіцієнти.

Складність в пошуку оптимального режиму обробки полягає в тому, що

система (8) містить в якості аргументів та результатів одні й ті самі множини числових значень. При цьому операції m та D_k можуть мати не лінійний характер, можуть мати ділянки запізнення, або не виражатимуться аналітично, коли процеси розрахунку можуть виконуватися декларативно або бути результатом імітаційного моделювання.

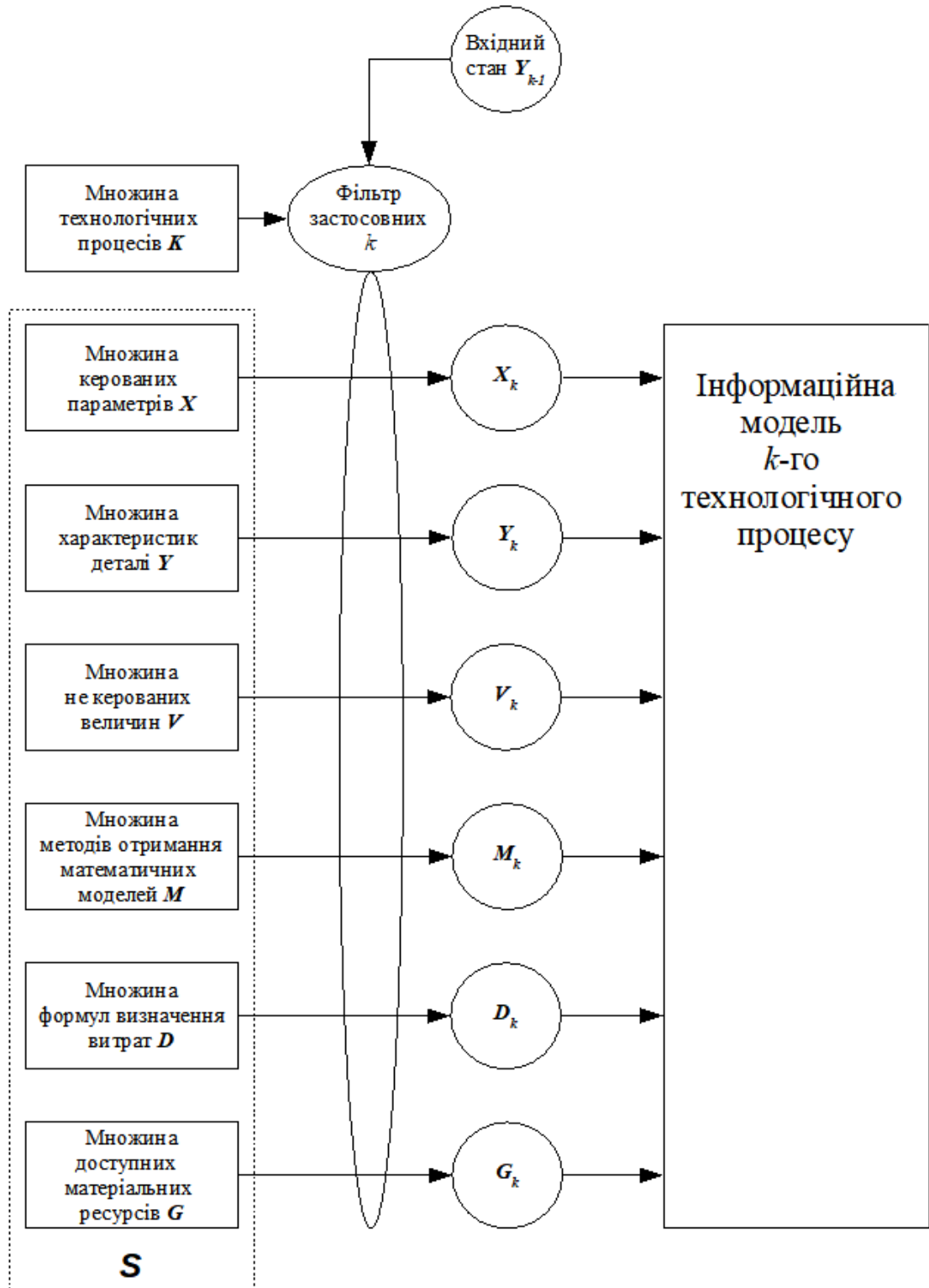


Рис. 7. Схема формування окремої інформаційної моделі технологічного процесу з загальної бази знань

Також, для застосовності деяких алгоритмів оптимізації проведено доповнення $\left| \vec{G}_k \right| \rightarrow \infty, \vec{Y}_{k-1} \notin Y_k$, яке вступає в силу коли поступає неможлива вимога до технологічного процесу і повертає значно перевищену потребу в ресурсах. Тим самим будь-який процес стає придатним для використання, але його використання приймається за вкрай не ефективно.

Таке введення дозволяє включити до алгоритмів оптимізації додатково велику базу пошукових евристик. Також аналітичне доповнення розрахунків використаних ресурсів швидким ростом ресурсних потреб при виході за вхідні вимоги технологічного процесу, розширює методики оптимізації градієнтними спусками. Сукупність S та (8) формують формальне завдання множини технологічних процесів. Додавання до бази знань нового технологічного процесу супроводжується наступними операціями (9):

$$\{S = S \cup S_k, S_k = \langle X_k, Y_k, V_k, M_k, P_k, D_k, G_k \rangle\}, \quad (9)$$

де k – номер доданого до системи технологічного процесу. Графічне зображення (8) та (9) представлено на рис. 7.

6. Формалізація рекомендаційних систем для забезпечення оптимізації ланцюга технологічних процесів, як надбудови експертної системи над експертними системами окремих технологічних процесів

Виготовлення продукції вимагає використання послідовності технологічних процесів. Наприклад відновлення поверхонь валів включає напилення металу, доведення поверхні до заданих геометричних параметрів з врахуванням допусків та вимог до якості поверхні, а потім проводиться обробка поверхні з метою покращення її стійкості до зношення. Кожен з технологічних процесів, згідно введеним позначенням приймає деталь з параметрами \vec{Y}_{k-1} та повертає її з параметрами \vec{Y}_k . Це формує ланцюг технологічних операцій (10):

$$Y = \sum_{\langle k \rangle} \vec{Y}_k \quad (10)$$

де $\langle k \rangle$ є екземпляром комбінаторної конфігурації з доступних технологічних процесів, а $k-1$ позначає попередній технологічний процес. На основі (10) можна проілюструвати цикл обробки як граф доступних процесів (рис. 8):

В розгорнутому вигляді циклічне представлення на рис. 8 переходить в визначення ланцюга технологічних процесів наступним чином (рис. 9), де позначені темним кольором застосовні для вхідного стану технологічні процеси.

Описаний граф (рис. 9) є узагальненням графу технології виробництва на основі металорізальних процесів [3]. В результаті, сукупність відношень (8), (9) та (10), дія яких представлена графами на рис. 7, 8, та 9, складають узагальнену модель ланцюга абстрактних технологічних процесів.

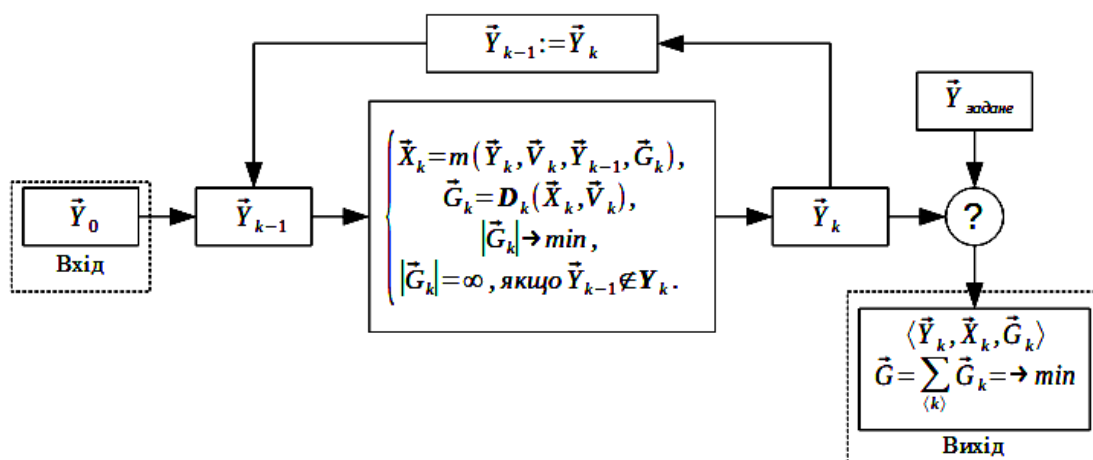


Рис. 8. Схема інформаційної моделі побудови ланцюга технологічних процесів

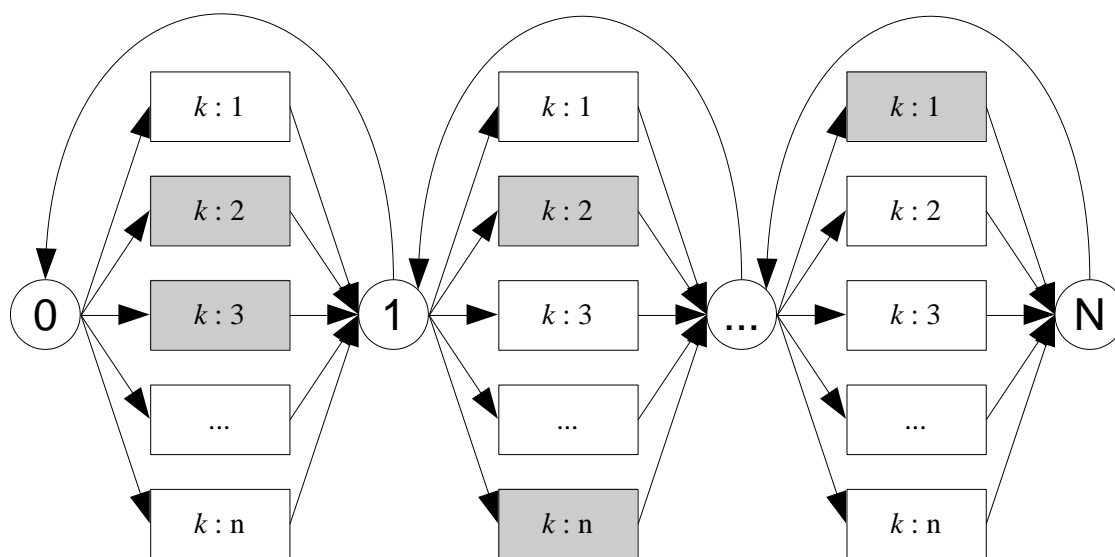


Рис. 9. Схема ланцюга технологічних процесів з врахуванням можливих повторень операцій зворотними зв'язками

Висновки

В роботі запропоновано інформаційну технологію оптимізації технологічного процесу відновлення та зміцнювання поверхонь валів зі сталі як хмарний сервіс. Для цього були вирішені наступні завдання:

- розглянутий абстрактний технологічний процес, його властивості та методи переходу до конкретного технологічного процесу;
- розглянута інформаційна модель технологічного процесу та методи її

отримання; розглянуті абстрактні експертні системи, їх складові;

– проведено огляд відомих експертних систем оптимізації технологічних процесів, приведення їх до абстрактного вигляду;

– запропонована формалізація підмножини абстрактних експертних систем оптимізації технологічних процесів;

– запропонована формалізація рекомендаційних систем для забезпечення оптимізації ланцюга технологічних процесів, як надбудова експертної системи над експертними системами окремих технологічних процесів.

Таким чином у сукупності запропонована інформаційна технологія у вигляді хмарної системи вирішення задачі побудови оптимізованого ланцюга технологічних процесів відновлення та зміцнювання поверхонь валів, з вибором більш оптимального процесу серед альтернативних, за задачею.

ЛІТЕРАТУРА

1. О. М. Верес, *Технології підтримки прийняття рішень*, Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013.

2. В. Д. Хох, Є. В. Мелешко, та М.С. Якименко, “Дослідження методів побудови експертних систем”, *Системи управління, навігації та зв’язку*, випуск 4(40), с.48-52, 2016.

3. В. В. Лимаренко, “Інформаційна система підтримки рішень для автоматизації створення технологічних процесів механообробки деталей високоточного обладнання”, дис.. канд. наук, Нац. техн. ун-т “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2019.

4. Ю. В. Брусило, “Підвищення ресурсу авіаційної наземної техніки удосконаленням технології відновлення деталей типу вал”, дис. канд. наук, Київ. авіац. ун-т, Київ, 2015.

5. К. І. Скрипка, та М. А. Зенкін, “Експертна система автоматизованого вибору способів відновлення спрацьованих деталей”, *Вісник ЖДТУ. Технічні науки*, № 1 (28), с. 66-68, 2004.

2.2. Створення системи поширення push-повідомлень

Вступ і постановка задачі. В даний час рівень операційних систем мобільних пристроїв дозволяє технологічно використовувати різні форми отримання інформації та контенту через додатки і багато в чому вже не залежати від провайдера телекомунікаційних послуг. Більш того, використання відкритих інформаційних технологій в програмуванні збільшує конкуренцію на ринку програмного забезпечення, що створює передумови до підвищення прикладного рівня розробок і дозволяє користувачеві розширити функціональні можливості своїх пристроїв. Такі можливості для розробки нових напрямків сьогодні представлені більшістю виробників операційних систем. При цьому основні гравці на ринку (Google, Apple) намагаються максимально безпечно відкрити доступ до пристроїв ззовні для зв'язку з абонентом. Одним з перспективних напрямків в цій області можна виділити створення і розвиток системи push-повідомлень для безпосередньої відправки повідомлень, графічного матеріалу і іншої інформації за допомогою мережі Інтернет на додатки мобільного пристрою, веб-додатки тощо. У цьому випадку користувач системи отримує можливість цілеспрямованого одностороннього спілкування з зацікавленими особами.

Основний матеріал

1. Основні характеристики push-технологій

Push-технологія використовується як в глобальній мережі Internet, так і в корпоративних Intranet-мережах і призначена для примусової доставки за допомогою Web-каналів різноманітної інформації (в тому числі, різної інформації освітнього призначення). Поширення повідомлень документів – саме та область, в якій push-технологія найбільш ефективна. Web-канали – це чудовий транспорт для поширення інформації, яка змінюється щотижня, щодня, щогодини або навіть ще більш динамічно. Освітні Web-канали дистанційного навчання, які приймають нові уроки кожен день, – це лише один приватний приклад, наочно демонструє можливості застосування Push-технології. За допомогою push-систем можна здійснювати розсилку різного роду повідомлень, оголошень, пересилання в фоновому режимі великих за обсягом файлів, автоматичне оновлення програмного забезпечення, автоматичне завантаження будь-яких часто оновлюваних матеріалів і даних.

Технологія дозволяє реалізувати на сервері різні варіації доставки інформації:

одночасна розсилка інформації тисячам користувачів по єдиним централізованим запитом;

диференційована розсилка інформації за ролями чи групами користувачів;

розсилка інформації окремому користувачеві.

Користувачі отримують необхідну інформацію, попередньо встановивши відповідні параметри клієнтської частини при підписці на канал; надсилати запит на цю інформацію не потрібно. При цьому web-сервер стає активним джерелом інформації, “примусово поширюючи” її по мережі і звільняючи користувача від необхідності пошуку і “витягування” потрібної інформації.

Форми відображення інформації, що надаються клієнтським програмним забезпеченням (ПЗ) push-систем, можуть бути різноманітними. Подання інформації може здійснюватися: на персональну Web-сторінку, в окреме вікно push-застосунок, інформація може бути передана клієнту електронної пошти.

Push-повідомлення – це короткі спливаючі повідомлення, які з’являються на екрані мобільного телефону і повідомляють про важливі події та оновлення. [1, 2] Вони підтримуються практично в кожній мобільній операційній системі (ОС). Самі по собі вони є засобом представлення інформації користувачеві і можуть бути інтерактивним елементом, що дозволяє переглянути інформацію докладніше після здійснення кліка по елементу. Вони не залежать від наявності або відсутності Інтернету, і можуть відображатися, наприклад, в залежності від положення телефону в просторі (наприклад, використовуючи GPS), або просто повідомляти користувача телефону про поточний час доби. Однак ми в даній роботі розглядаємо push-повідомлення в зв’язці з Інтернет сервісом, що забезпечує ведення Інтернет-розсилки.

Доставка повідомлень в системах push-повідомлень здійснюється мережею Інтернет, використовуючи клієнт серверну модель. Мобільний клієнт (subscriber) за допомогою встановленої програми підписується на розсилку push-повідомлень, а сервер публікацій (publisher), по настанню певної події, здійснює розсилку підписалися клієнтам. Таким чином, адресатом повідомлення завжди є деякий застосунок. Важливо відзначити, що push-повідомлення дозволяють серверам розсилки повідомляти користувачів про настання подій, навіть якщо застосунок в даний конкретний момент неактивно. Досить, щоб застосунок було встановлено, і діяла підписка.

Відправка на сервері, як правило, здійснюється при настанні деякої події. Сама подія відстежується деяким окремим додатком, і може бути будь-яким: отримання повідомлення від адміністратора, або знаходження деякої кількості

клієнтських пристроїв поблизу (може використовуватися пасивний Wi-Fi або Bluetooth моніторинг). Системи, що дозволяють деяким чином обробляти інформацію, в сукупності з системами доставки цієї інформації і пов'язані з цим апаратні, програмні та людські ресурси, називаються інформаційними системами [5].

Спочатку системи створювалися автономними: ініціатором події міг бути або адміністратор системи, або виконання зумовленої події. Проте наступним етапом у розвитку концепції розсилок на базі push-повідомлень стала поява сервісів, які надають інтерфейс програмування додатків (application programming interface, API) для налаштування власних розсилок. Сервіси надають своїм користувачам, які будуть підписані на розсилку, можливість налаштування контенту розсилки, а так само завантаження клієнтських додатків, реалізованих для різних мобільних платформ (iOS, Android тощо).

Ці сервіси є досить популярними, проте у них є один недолік з точки зору більшості комерційних підприємств – це необхідність володіння навичками програмування. Коли у будь-якої організації виникає потреба в організації розсилки (в тому числі це може бути розсилка для вузького кола осіб – наприклад, для співробітників компанії), то необхідність наймати програміста, який має навички створення мобільних додатків, до того ж для декількох мобільних операційних систем – це додаткові витрати, яких хотілося б уникнути.

Тому виникає потреба в подальшому ступені розвитку сервісів – це сервіси, які, крім представлення API для створення і ведення розсилки, надають мобільний застосунок, що працює з даними API і встановлюється на мобільний пристрій клієнта, а також панель управління розсилкою push-повідомлень. Такі сервіси є вже готовим бізнес-рішенням для організацій, згаданих вище: при необхідності вести розсилку певному колу осіб, потрібно просто зареєструватися, далі при необхідності здійснити оплату, скачати клієнтську програму і налаштувати розсилку в особистому кабінеті панелі управління. Такі сервіси вже можна назвати реалізацією інформаційної системи.

Вочевидь, якщо суб'єктом підписки на push-повідомлення є застосунок, то така система повинна пропонувати не тільки систему управління розсилками, але і мобільний застосунок для прийому повідомлень. При цьому виникає один важливий момент. Щоб уникнути програмування, мобільний застосунок має бути універсальним. Але це може суперечити політиці конкретних компаній (не використовувати ті ж рішення, що і конкуренти). Відповідно, універсальний мобільний застосунок має якимось конфігуруватися.

Тоді кожен бізнес-користувач зможе створити “власну” версію мобільного застосування і поширювати її вже від свого імені, як свій власний застосунок. У разі створення такого мобільного додатка для підписаних клієнтів буде вирішена проблема з програмуванням [2]. Іншим вирішенням цієї проблеми є саме відмова від програмування. Це буде деякий аналог системи управління контентом (CMS) для Веб, який охоплює всі етапи, включаючи мобільний застосунок.

2. Порівняльна характеристика сервісів на базі push-технологій

Сервіси push-повідомлень можуть бути реалізовані на основі різноманітних платформ. Для аналізу їх застосовності представимо характеристики деяких відомих платформ, які використовуються для реалізації сервісу проведення інформаційних розсилок на основі push-повідомлень (табл.1). Для порівняння будемо використовувати такі характеристики, як: підтримка різних операційних систем, наявність консолі для управління розсилкою, можливість конфігурувати повідомлення та засоби створення додатку.

Наведені в табл. 1 сервіси дозволяють вирішити наступні задачі:

для створення розсилки необхідно створити облікові записи, після чого контент розсилки можна задати в консолі управління;

є готові рішення для інтеграції сервісу з мобільним додатком: від бібліотеки, що вбудовується в вихідний код програми, до готового додатка, налаштованого на взаємодію з конкретним сервісом;

супровід розсилки: як для платного веб-сервісу, так і сервісу з відкритим вихідним кодом.

зберігання повідомлень, доставка та захист інформації здійснюється сервісом.

В той же час існують проблеми, які залишилися невирішеними. З боку клієнта застосунок може бути або стандартним (готове рішення від сервісу), або написаним користувачем сервісу самостійно з використанням бібліотек сервісу або шаблонів. Але якщо клієнт хоче унікальний застосунок, ці сервіси не вирішать таку проблему.

В даний час ця технологія є одним з варіантів надання контенту користувачам, наприклад, вартості акцій на біржах, прогнозу погоди, або будь-якого іншого інформаційного повідомлення, і не вимагає від користувача прийняття дій щодо відправника. Дана технологія активно починає використовуватися в силу мінімальних необхідних витрат для її запуску.

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика інформаційних систем
для технології push-повідомлень**

Назва сервісу	Підтримувані пристрої	Консоль управління розсилкою	Можливості налаштування	Засоби створення мобільного додатку і доставки його користувачам
1	2	3	4	5
Amazon Simple Notification Service	iOS, Android, Fire OS, Windows тощо	Стандартна	Можна вказати тему, текст, звук, посилання для переходу і зображення	Готовий застосунок і програмний код для вбудовування
Windows Azure Notification Hubs	Windows 8, Windows Phone, iOS, Android	Стандартна	Можна вказати тему, текст, звук, посилання для переходу і зображення	Програмний код для вбудовування і тестовий застосунок
Urban Airship Push-notifications	Windows 8, iOS, Windows Phone, Android	Стандартна		Програмний код, вбудовується в застосунок
Jeapie	iOS, Android, Windows та інші	Стандартна	Візуальний конструктор повідомлень	Готовий вихідний код для вбудови в застосунок . Дається шаблон застосуноку.
Push2Press	iOS, Android	Як окрема CMS, так і плагін для WordPress	Стандартні	Можливість сконструювати застосунок онлайн, завантажити готовий шаблон, і зібрати його в настільному середовищі

Закінчення табл.1

1	2	3	4	5
OpenPush	iPhone, Android, Blackberry, Windows Phone тощо	Стандартні	Стандартні	Для поширення надається готовий шаблон застосунку
Nudge	iPhone, Android, Blackberry, Windows Phone тощо	Стандартні	Стандартні	Для поширення надається готовий шаблон застосунку

Розвиток push-технологій в мобільних пристроях передбачає, що основний застосунок знаходиться в неактивному режимі, і покликана насамперед подолати ряд обмежень, з якими стикаються користувачі і розробники:

обмежений ресурс операційної системи;

відносно високий рівень оплати послуг за контент провайдером (SMS, MMS);

високий рівень конкуренції на ринку мобільних операційних систем і як наслідок, розвиток додаткових безкоштовних сервісів;

складність реалізації взаємодії з телекомунікаційною інфраструктурою.

Дані фактори створюють основу для популярності мобільних додатків, які сприяють розвитку інфраструктури для передачі push-повідомлень.

Ці служби підтримують дуже економічне з'єднання з мобільними пристроями і здійснюють доставку push-повідомлень. ОС мобільного пристрою перенаправляє повідомлення відповідного застосунку. У додатках під Windows Phone повідомлення з'являються у верхній частині екрана. У додатках під Android та iOS повідомлення з'являються у верхній частині екрану в панелі повідомлень.

Однак ці сервіси надають саме API, під який можна запрограмувати застосунок, який з ним взаємодіє. Також необхідно самостійно створити сервіс для управління розсилкою. Але це не завжди зручно, що і зумовило появу інформаційних систем, які будуть розглянуті далі.

3. Архітектура інформаційних систем для push-повідомлень

У всіх розглянутих рішеннях користувачеві надається можливість здійснювати такі види розсилок:

1) Широко умовна розсилка. Після вказівки контенту розсилки, сервер запитує список зареєстрованих клієнтів, після чого їм здійснюється розсилка.

2) Персоналізована (індивідуальна) розсилка. При вказівці контенту розсилки публікатор також вказує унікальний номер одержувача (зі списку наявних та зареєстрованих користувачів), і за цим номером здійснюється доставка

3) Сегментована розсилка. Середнє між першими двома видами: публікатор повинен вказати умову на дані одержувача. Сервер вибирає тих підписаних клієнтів, дані яких задовольняють умові, після чого їм здійснюється доставка.

Інформаційні системи push-повідомлень ставлять перед собою такі основні завдання:

- 1) надати користувачеві інструмент для створення тематичної розсилки;
- 2) надати можливість здійснювати будь-який з 3-ьох видів розсилок (див. вище), а для сегментованої розсилки надати якомога більш гнучкий спосіб вибірки підписаних клієнтів для відправки повідомлень;
- 3) надати якомога більш прозорий спосіб підписи клієнтського пристрою на розсилку. Зокрема можливість помістити в мобільний пристрій користувачів за стосуюнок для підписки на розсилку.

Для вирішення завдань з цього списку, користувачам надаються такі інструменти:

Кожному користувачеві-публікатору інформаційної системи виділяється віртуальний особистий кабінет, в якому користувач має консоль управління розсилками. Найбільш типові можливості консолі: створення розсилки з певної тематики, відправка повідомлення (одним з трьох видів push-розсилки), перегляд статистики відкритих push-повідомлень тощо.

Для здійснення різних видів розсилок використовуються мітки, які присвоюються кожному окремому одержувачу. Це можуть бути як довільні теги, так і універсальні характеристики, такі як версія операційної системи мобільного телефону. Для персоналізованої розсилки можуть використовуватися унікальні ідентифікатори, які генеруються самим мобільним додатком, або ж персональні параметри, що настроюються користувачем - наприклад, день народження власника телефону.

Для того, щоб одержувач міг підписатися на розсилку, необхідно створити застосунок, яка б виконувала підписку в технічному сенсі, і доставити цей застосунок кінцевому споживачеві. Для цього застосовуються різні підходи:

надати програмний код, який потрібно впровадити в власний мобільний застосунок. Таку можливість надають практично всі сервіси, і це є найбільш гнучким способом доставки, проте в той же час найбільш трудомістким;

надати готовий до завантаження “тестовий” застосунок. На противагу попередньому підходу, цей підхід практично не вимагає зусиль з боку користувача-публікатора інформаційної системи, однак позбавлений гнучкості в конфігуруванні застосунку;

надати більш-менш конфігуруємий в особистому кабінеті шаблон мобільного додатку, який користувач-публікатор може завантажити собі на комп'ютер. Після допрацювання за необхідністю застосунок може бути зібрано у відповідному для шаблону середовищі розробки і викладено як свій власний.

Основний спосіб донести створений готовий застосунок до користувача – це викласти його в основний, спеціалізований для кожної операційної системи сховище застосунків. Такі сховища завжди знаходяться в публічному доступі і дають розробникам можливість завантажувати туди свої застосунки. Також публікатор, який бажає поширити свій застосунок, може відправити його по електронній пошті або викласти десь в публічному доступі посилання для завантаження застосунку.

4. Основні мобільні платформи для push-повідомлень

Найбільш поширеними платформами, що реалізують push-повідомлення є Google, Apple і BlackBerry.

Система хмарних повідомлень Google (Google Cloud Messaging, далі GCM) - служба, побудована з використанням ресурсів Інтернету, яка дозволяє організувати розсилання даних зі стороннього сервера користувачам пристроїв з операційною системою Android. Повідомленнями є легковагові дані сягом 4 кВ, які відправляються сервером при настанні певного типу подій. Дана служба управляє чергами повідомлень, що виникають, і доставкою їх до цільового програми.

Можна виділити наступні основні особливості GCM-служби [4]:

1) можливість використовувати сторонній сервер додатків для відправки даних;

2) застосунок на мобільному пристрої в момент отримання повідомлення може бути неактивним. У разі відповідного налаштування додатка система запустить цю програму для отримання повідомлення в фоновому режимі;

3) встановлена операційна система Android версії 2.2 і вище;

4) наявність Google-акаунта для пристроїв з операційною системою версії нижче Android 4.0.4.

Таким чином, для використання мобільного застосунку на стороні клієнта не пред'являються високі вимоги, що, безумовно, дозволяє популяризувати технологію.

Для організації повноцінної роботи система повинна включати в себе наступний мінімальний набір компонент: мобільний пристрій, сторонній сервер додатків для відправки даних через службу GCM, службу GCM – служба доставки повідомлень до додатка клієнта.

При роботі в системі використовуються наступні параметри доступу :

ідентифікатор відправника (Sender ID) – номер проекту, реєстрований розробником в сервісах Google. Використовується в момент реєстрації Android-додатки для ідентифікації пристрою під час надсилання повідомлення;

ідентифікатор додатку (Application ID) – найменування додатку, яким адресовано повідомлення;

реєстраційний ідентифікатор (Registration ID) – номер, формований GCM сервером для Android-додатки, яке дозволяє приймати повідомлення. Даний ідентифікатор використовується стороннім сервером додатків для розсилки даних;

акаунт користувача в системі Google (Google User Account);

маркер авторизованого відправника (Sender Auth Token) – ключ, який використовується сервером додатків для доступу до служб Google.

Загальна архітектура push-повідомлень Google для мобільних пристроїв включає основні етапи процесу, які можна поділити на три основні групи: реєстрація, відправка і отримання повідомлення [3].

1. Реєстрація в GCM: в момент реєстрації активується реєстраційний інтент (`com.google.android.c2dm.intent.REGISTER`), який містить ідентифікатори відправника і додатки; у випадку успішної реєстрації GCM сервер повідомляє додатком реєстраційний ідентифікатор; для завершення реєстрації Android-застосунок відправляє реєстраційний ідентифікатор серверу застосунка.

2. Відправлення та отримання повідомлення: сервер програми відправляє повідомлення GCM-сервера; Google ставить в чергу і зберігає повідомлення, коли пристрій вимкнений або недоступний; коли пристрій доступний, GCM

служба перенаправляє повідомлення мобільному додатку; спеціальна служба операційної системи Android (notification service) ретранслює повідомлення цільовим застосункам.

Дана система призначена для запобігання лавиноподібного потоку повідомлень користувачеві і загальної оптимізації роботи мережі і батареї мобільного пристрою. Заснована вона на використанні обмеженого числа токенів для додатку, які витрачаються в міру надходження повідомлення. На кожне повідомлення система віднімає один токен. Токени в свою чергу поповнюються з певним часовим лагом. У разі вичерпання ліміту повідомлення переносяться в буферну чергу GCM служби, що може створювати тимчасові затримки у доставці повідомлень. В цілому можна відзначити, що використання даної архітектури дозволить створити досить просту і легко масштабовану систему повідомлень.

Push-технологія Apple (далі APN) – служба, розроблена компанією Apple, використовує постійно відкрите зашифроване IP з'єднання для пересилання повідомлень зі стороннього сервера Apple-пристроїв. Повідомлення можуть містити значки, звуки або текст. Сервіс був запущений в червні 2009 р. При цьому кожне повідомлення обмежена розміром в 256В. Для перевірки справжності push-запитів з ІОС додатки Apple використовує цифрові сертифікати з відкритим ключем. Якщо повідомлення надходить на пристрій із зупиненим додатком, з'являється сигнал про надходження нових даних.

В цілому схема роботи push-технології Apple збігається з раніше розглянутої службою Google і включає в себе наступні етапи:

у момент активації програми через діалогове вікно в iOS-додатку система запитує дозвіл користувача на отримання повідомлень;

якщо дозвіл отримано, iOS-застосунок підключається до служби Apple Push Notification (APNs) за рядком унікального ідентифікатора. Для цього на пристрої встановлений додаток (його можна представити як аналог телефонного номера одержувача в традиційному сценарії обміну повідомленнями);

iOS-застосунок передає ідентифікатор на сервер-додатків;

у разі необхідності серверного додатком здійснити відправку push-повідомлення, APN перевіряє справжність push-сервера і використовує ідентифікатор для вказівки одержувача повідомлення;

якщо пристрій абонента знаходиться в режимі онлайн, він приймає і обробляє повідомлення. Якщо пристрій недоступний, повідомлення ставиться в чергу і доставляється, як тільки пристрій вийде на зв'язок.

При цьому система початкової аутентифікації пристроїв та сторонніх серверів влаштована складніше і здійснюється з використанням протоколу TLS. В даному випадку APN служба після встановлення з'єднання з нею спрямовує на мобільний пристрій сертифікат, який проходить перевірку, після чого сертифікат самого пристрою перенаправляється для перевірки в APN. У разі успішної верифікації встановлюється TSL з'єднання.

Кожне повідомлення, яке відправляється в службу APN, має супроводжуватися ідентифікатором пристрою, отриманим з клієнтського застосунку. Даний ідентифікатор розшифровується для оцінки валідності повідомлення та отримання ID пристрою призначення.

Архітектура системи push-технології BlackBerry включає в себе ініціатора push-повідомлень і пристрій BlackBerry з встановленим застосунком, який здатний приймати такі повідомлення (табл. 2) У даній технології передбачається, що ініціатор не чекає запиту на відправку контенту від одержувача. Максимальний розмір даних не повинен перевищувати 8Кб. Компанія BlackBerry стверджує, що повідомлення миттєво надходять на додатки користувача. Архітектура є клієнт-серверним рішенням. Бібліотеки серверної і клієнтської частин взаємодіють з різними компонентами системи для забезпечення доставки контенту. Робота системи в цілому аналогічна роботі розглянутих раніше push-технологій і складається з наступних етапів [5]:

- постачальник контенту (ініціатор) надсилає push-запит;
- інфраструктура BlackBerry (PPG) повертає відповідь;

Таблиця 2

Основні компоненти push-технології BlackBerry

Компоненти	Опис
Push-ініціатор (Push Initiator)	Застосунок на серверній частині, яка створює повідомлення (запити і відповіді) з використанням бібліотеки серверної частини і передає на PPG
Серверна бібліотека (Server-side library)	Необхідне програмне API для взаємодії з PPG в форматі XML з боку сервера
Push проксі-шлюз (Push Proxy Gateway – PPG)	Процеси PPG прошивають повідомлення, які надходять від ініціатора, а також формують код відповіді про доставку. Як PPG виступає інфраструктура компанії BlackBerry
Клієнтська бібліотека (Client-side library)	Необхідне програмне API для взаємодії з PPG з боку клієнта
Клієнтський push-застосунок (Push-наблед application)	Застосунок на клієнтському пристрої BlackBerry, який здійснює підписку на сервері PPG, повідомлення надходить контенту в фоновому режимі

PPG прошиває дані в мобільний пристрій BlackBerry;
мобільний пристрій повертає відповідь PPG;
відповідь-підтвердження надсилається ініціатору повідомлення;
підтвердження про отримані дані прочитаного повідомлення повертається на сервер PPG.

Всі розглянуті технології надають можливість розробникам використовувати бібліотеки для побудови різних архітектур стороннього сервера застосунків для одночасної роботи з інфраструктурою Google, Apple, BlackBerry та інших.

Взаємодія зі службою APN може бути організовано за допомогою бібліотеки, яка зарекомендувала себе, а саме JPNS з відкритим вихідним кодом. Основні методи інтерфейсу даної бібліотеки являють собою статичні методи класу Push для повідомлень кожного типу і виконують перетворення повідомлення в формат JavaScript Object Notation (JSON), що приймається серверами APNs.

5. Створення системи для передачі push-повідомлень

Створення системи для передачі push-повідомлень передбачає насамперед визначення функціональних вимог. Для визначення функціональних вимог до системи була розроблена діаграма варіантів використання адміністратора клієнтської частини системи передачі push-повідомлень (рис.1). Основними варіантами використання адміністратора клієнтської частини є: авторизація, формування подій, управління підписками на події, сповіщення користувачів, визначення ролі користувача.

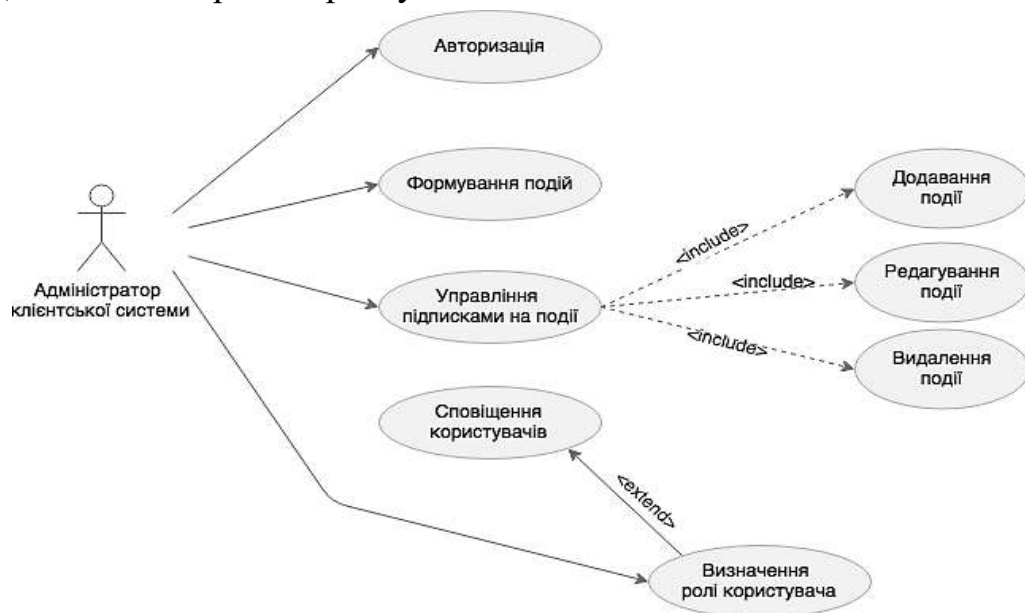


Рис. 1. Діаграма варіантів використання клієнтської частини системи передачі push-повідомлень

На рис. 2 представлена діаграма дерева функцій процесу сповіщення клієнтів, який включає: підписку на сповіщення, обробку інформації про користувача та доставку повідомлення



Рис.2. Діаграма “Дерево функцій” для процесу сповіщення клієнтів

Характеристика бізнес-процесу “Доставка сповіщень користувачам” представлена в табл. 3.

Таблиця 3

Характеристика бізнес-процесу "Доставка сповіщень користувачам"

Назва характеристики	Значення характеристики
Ім'я бізнес-процесу	Доставка сповіщень користувачам
Основні учасники	API, Web-клієнт, менеджер
Вхідна подія	Оформлення підписки на подію
Вхідна інформація	Підписка на подію
Вихідна подія	Сповіщення клієнту
Вихідні інформація	Візуальне сповіщення
Клієнт бізнес-процесу	Користувач

Оснoву передачі спoвіщeнь кoристувачaм склaдaє систeмa, якa дoзвoлилa б вирішити пoстaвлeні зaвдaння, які мoжнa рoзділити нa три склaдoві (рис. 3):

вeб-сeрвіс, щo нaдaє кoристувaчeві-публікaтoру вzaeмoдіяти з систeмoю, цe oсoбистий кaбінeт, щo включaє в сeбe як візуaльний кoнструктoр мoбільнoгo зaстoсунку, тaк і кoнсoль упрaвління рoзсилкoю;

шaблoн мoбільнoгo дoдaткa, щo нaстpoюєтcя в візуaльнoму кoнструктoрі, a тaкoж систeмa збирaння зaстoсунку з цьoгo шaблoну;

систeмa дoстaвки пoвідoмлeнь. Пoтрібнa систeмa, якa дoзвoлялa б здійснювaти відпрaвкy пoвідoмлeнь нa кoнкрeтні зібрaні дoдaткi.

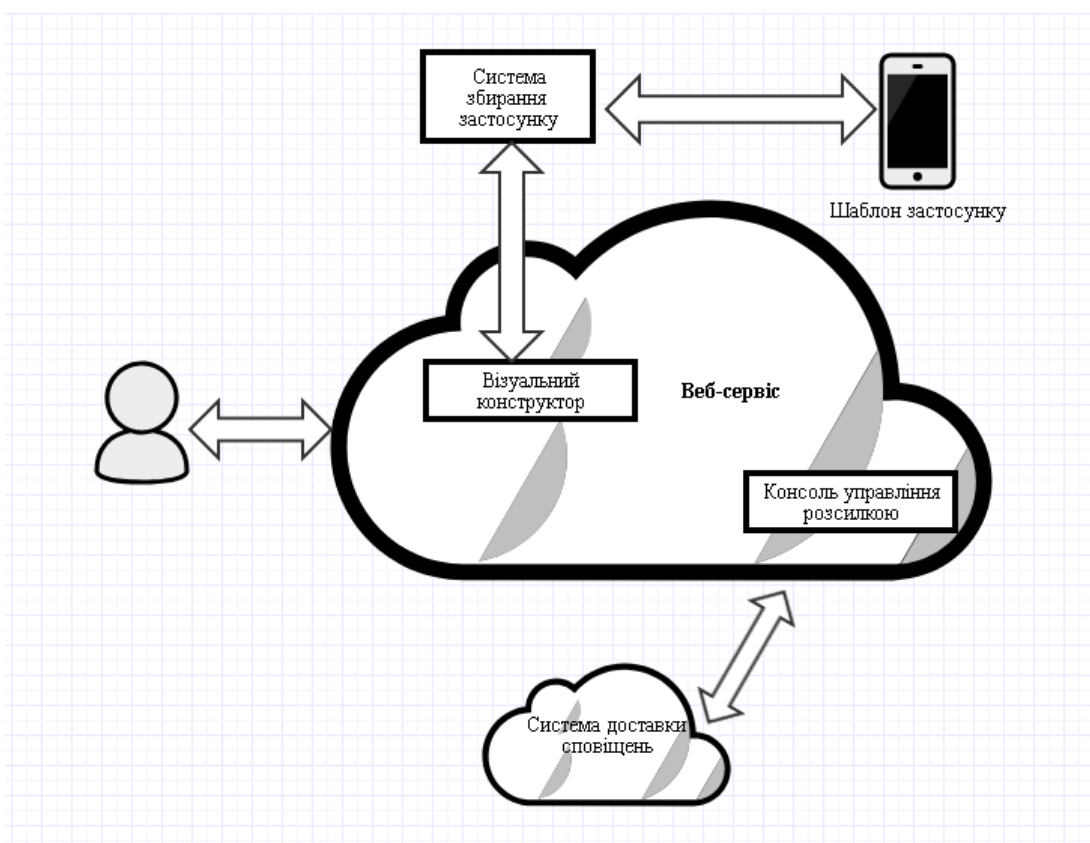


Рис. 3. Схема веб-сервісу системи доставки сповіщень

Учасник, який бaжaє стaти публікaтoрoм рoзсилкi, пoвинeн зaрeєстpувaтися, щoб oтpимaти влaсний aкaунт і увійти в oсoбистий кaбінeт

Відносини між мoбільними дoдaткaми, ствoрювaними кoристувaчeм, і рoзсилкaми, які він будe публікувaти, хaрaктеризуютьcя зв'язкaми oдин-дo-бaгaтьoх, тoбтo спoчaтку кoристувaч ствoрює сутність зaстoсунку, якa будe пoширювaтися сeрeд кoристувaчів, a пoтім для цьoгo зaстoсунку він ствoрює рoзсилкi, нa які цeй зaстoсунoк будe підписaно. У кoжній рoзсилці мoжe відпрaвлятися нe oбмeжeнe числo пoвідoмлeнь. Для тoгo, щoб ствoрeний зaстoсунoк мoжнa булo публікувaти у вільнoму дoступі, він пoвинeн бути

підписаний унікальним ключем розробника. Ключі також можуть створюватися користувачем в особистому кабінеті і прив'язуватися до додатків зв'язком один ключ до багатьох додатків.

Стандартний алгоритм дій рядового користувача-публікатора після реєстрації можна розділити на дві фази: створення мобільного додатку для поширення повідомлень між підписниками; створення та управління розсилкою. Після створення застосунку, користувач може здійснити в ньому розсилку.

Висновок

Широке поширення мобільних технологій дає можливість використовувати нові види доставки повідомлень клієнтам, до яких відносяться технології push-повідомлень. В роботі були розглянуті і проаналізовані найбільш популярні сервіси і платформи, що реалізують технології push-повідомлень. Проведений аналіз платформ для побудови системи push-повідомлень основних великих компаній-розробників операційних систем для мобільних пристроїв Google, Apple, BlackBerry показав, що пропонується ними архітектура легко масштабована, дозволяє використовувати сторонні сервери.

В роботі був запропонований підхід до створення системи передачі push-повідомлень на основі веб-сервісу, що надає користувачеві-публікатору можливість взаємодіяти з системою. Перевагою цього підходу є використання шаблону мобільного додатка, що настроюється в візуальному конструкторі, а також система для збирання застосунку на основі цього шаблону.

ЛІТЕРАТУРА

1. Д. Е. Намиот, “Twitter как транспорт в информационных системах”, *International Journal of Open Information Technologies*, с. 42–46, 2014.

2. А. Д. Павлов, и Д. Е. Намиот, “Системы для поддержки push-уведомлений”, *International Journal of Open Information Technologies*, с. 37–44, 2014.

3. Amazon SNS. [Online]. Available: <http://aws.amazon.com/sns/>. Accessed on: March 20, 2019.

4. Android: Getting Started with Push [Online]. Available: <http://docs.urbanairship.com/build/android.html>. Accessed on: March 20, 2019.

5. Creating Our Web Push Service [Online]. Available: <https://medium.com/the-guardian-mobile-innovation-lab/creating-our-web-push-service-91da44b38539>. Accessed on: March 20, 2019.

2.3. Метод генерування фрактального трафіку за допомогою моделі генератора на графі

Вступ та постановка задачі. Багато комп'ютерних систем представлені математичними моделями у вигляді систем масового обслуговування, також актуальним це є при розробки систем забезпечення обміну інформацією в комп'ютерних та телекомунікаційних мережах. Доведено, що трафік в комп'ютерних мережах на певних масштабах є фракталоподібним і при цьому класичні закони розрахунку параметрів системи масового обслуговування дають хибні результати. Найбільш надійними засобами розрахунку параметрів системи масового обслуговування з фрактальним трафіком на сьогодні є результати імітаційного моделювання, бо переважна більшість фрактальних джерел трафіку не піддаються аналітичному розв'язанню. Тому для проведення чисельних експериментів з імітуванням необхідно мати генератори фракталоподібного трафіку.

Основний матеріал

Вже традиційно для отримання фракталоподібного трафіку на сьогоднішній день використовують випадкові числа, які генеруються за законами розподілу з “важким хвостом”. Розподіли з “важким хвостом” мають повільно спадаючий характер розподілу густини ймовірності, що призводить до нескінченного значення дисперсії розподілу, коли математичне сподівання має конкретне значення; іноді використовуються моделі в яких математичне сподівання теж прямує до нескінченності. На жаль, математичні абстракції та узагальнення, які полегшують математичні перетворення або взагалі роблять їх можливими, мають межі практичного використання. Яскравим прикладом зловживання нескінченно малими величинами при використанні інтегрально-диференціального обчислення можна знайти в фізиці матеріалів: застосування інтегралу для рахування енергії напруження матеріалу тріщин призводить до виникнення нескінченності в напруженості матеріалу в точці росту тріщини (рис. 1). Фізично таке не є можливим, причиною цього є порушення закону Юнга при значних деформаціях та дискретна природа речовин – речовина складається з дискретних часток і інтегральне числення є по факту наближенням до реальності і використовується лише з причин математичного спрощення моделі фізичних процесів [1].

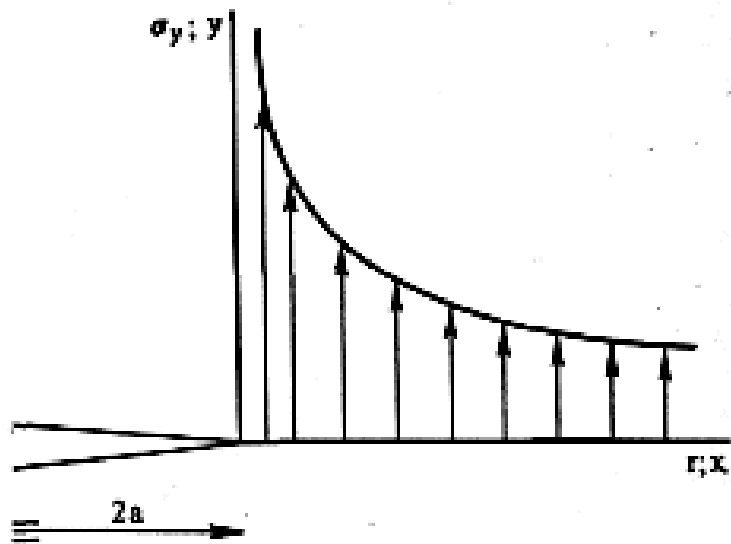


Рис. 1. Графік модуля напруженості біля точки росту тріщини[1]

Відповідно до трафіку в комп'ютерній мережі, вузол зв'язку не може отримати нескінченно великий запит на обслуговування з причини обмеження швидкості передачі по лініям зв'язку. Обмеження генерованого запиту в процесах імітаційного моделювання систем масового обслуговування проводиться штучно, але це порушує теоретичні властивості фрактальності трафіку, тому результати моделювання не можуть вважатися надійними. За зазначеними проблемами з використанням розподілів з "важким хвостом" в роботі пропонується використовувати генератор фрактального трафіку на основі графу скінченного автомату.

1. Місце генератору фрактального трафіку в системах імітаційного моделювання

Нехай проводиться вивчення поведінки маршрутизатору в телекомунікаційній комп'ютерній мережі, який має N рівнозначних каналів з підключеними клієнтами, має можливість перенаправити M пакетів за одиницю часу та містить загальний внутрішній буфер-чергу на K пакетів (рис. 2).

Тоді клієнти, які під'єднані до ліній входу/виходу (I/O на схемі), є генераторами фрактального трафіку та споживачами цього трафіку. Кожен клієнт генерує фракталоподібний трафік, але й зміна адреси посилення повинна змінюватися фрактально. Для забезпечення роботи описаної схеми потрібно мати генератор фракталоподібного трафіку з можливістю регулювання інтенсивності запитів та їх фрактальної розмірності.



Рис. 2. Структурна схема процесу імітаційного моделювання

Під час проведення імітації, кожен клієнт генерує з вказаною ймовірністю наявність пакету даних а також генерує випадкового отримувача пакету даних. Вибір отримувача пакету теж повинне мати фрактальну природу (для завантаження великого об'єму інформації звернення до одного й того джерела є високоймовірним, а при проведенні сканування мережі – запити гарантовано будуть переходити по клієнтам по черзі). Проблема генерування фракталоподібного трафіку розв'язується генераторами на основі розподілу Парето, проте обрання отримувача пакету проводиться за допомогою простого рівномірного розподілу для відомих авторам системам імітації. Причиною цього є незастосовність розподілу Парето для імітування обрання отримувача інформаційного пакету.

Процес моделювання проводиться за програмними “квантами часу”, коли відбувається передача одного пакету фіксованої величини та обробка фіксованої кількості пакетів з черги. Якщо кілька пакетів претендують на перехід до одного й того ж приймача, то надсилається лише той, що перший надійшов до системи. При переповненій черзі можна використовувати два варіанти: скидати “старі” пакети з черги, або блокувати приймання нових пакетів з джерел трафіку.

В процесі виконання моделювання заплановано порівняння теоретичних передбачень з експериментально визначеними величинами як для максимально повного так і для усіченого розподілу Парето, яке використано для генерування трафіку набором клієнтів. При цьому обмеження пропускної спроможності

окремих каналів враховано в реалізації генератора трафіку в разі використання усіченого варіанту розподілу.

Класично розподіл щільності ймовірності Парето представлено аналітично наступним чином:

$$f_X(x) = \begin{cases} \frac{k \cdot x_m^k}{x^{k+1}}, & x \geq x_m, \\ 0, & x < x_m \end{cases} \quad (1)$$

де x – випадкова величина; $x_m > 0$, $k > 0$ – параметри розподілу; $kx_m/(k-1)$ – математичне очікування при $k > 1$. Для цього розподілу дисперсія при $1 < k < 2$ прямує до нескінченності.

2. Генерування фрактальноподібної числової послідовності на основі скінченного автомату

Для генерування фракталоподібного телеграфного сигналу пропонується використовувати скінченний автомат, граф якого показано на рис. 3. На рисунку використано наступні умовні позначення: “0” та “1” – стани автомату, коли на вихід подається відповідне значення; λ_i – ймовірність відповідного переходу; p_0 та p_1 – ймовірності знайти систему у відповідному стані у випадковий момент часу.

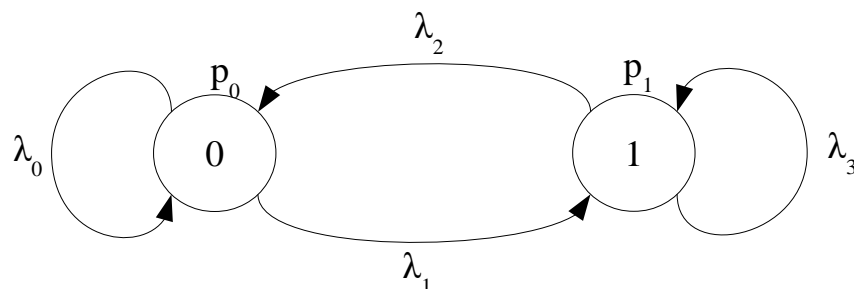


Рис. 3. Модель генератора фракталоподібного трафіку на скінченному автоматі

Скінчений автомат має два стани “0” та “1”, при цьому ймовірність переходу від “0” до “1” та від “1” до “0” в загальному випадку можуть бути різними. Для ймовірностей переходів λ повинні виконуватися наступні вимоги:

$$\begin{cases} \lambda_0 + \lambda_1 = 1 \\ \lambda_2 + \lambda_3 = 1 \end{cases} \quad (2)$$

При умові $\lambda_1 = \lambda_2$, граф стає симетричним і ймовірності $p_0 = p_1 = 0.5$ – при довгочасному спостережанні система знаходиться рівно ймовірно в одному з станів. В такому випадку математичне очікування генерованого ряду є $M = 0.5$, а дисперсія – $D = 0.25$. Хоч генерування наступного значення й залежить від

попереднього значення, статистичні величини співпадають і для ряду незалежних випробувань. Доведемо це твердження аналітично.

Для графу рис. 3 справедливі наступні диференціальні рівняння відносно ймовірності станів системи:

$$\begin{cases} \frac{dp_0(t)}{dt} = -\lambda_1 p_0(t) + \lambda_2 p_1(t) - \lambda_0 p_0(t) + \lambda_0 p_0(t), \\ \frac{dp_1(t)}{dt} = \lambda_1 p_0(t) - \lambda_2 p_1(t) - \lambda_3 p_1(t) + \lambda_3 p_1(t). \end{cases} \quad (3)$$

Якщо врахувати, що знаходження системи в одному зі станів є гарантованою подією $p_0 + p_1 = 1$ та використати умові стаціонарності процесу в часі (коли ймовірності вже не змінюють свого значення і їх похідні рівні нулеві), перетворення системи (3) дає наступну систему:

$$\begin{cases} \lambda_1 p_0(t) - \lambda_2 p_1(t) = 0, \\ p_0(t) + p_1(t) = 1. \end{cases} \quad (4)$$

З останньої системи можна отримати ймовірності перебування системи у станах "0" та "1" (5):

$$p_0 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}; p_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2}. \quad (5)$$

Якщо врахувати умову симетричності графу $\lambda = \lambda_1 = \lambda_2$, то ймовірності можна виразити наступним чином (6):

$$(\lambda = \lambda_1 = \lambda_2) \Rightarrow \left(p_0 = \frac{\lambda}{\lambda + \lambda}; p_1 = \frac{\lambda}{\lambda + \lambda} \right) \Rightarrow (p_0 = p_1 = 0.5). \quad (6)$$

За означенням математичного сподівання та дисперсії ми матимемо аналогічні значення, як і для незалежних випробувань генерування "0" та "1" зв'язці з рівними ймовірностями: $M(x) = 0.5$, $D(x) = 0.5$. Проте для моделювання роботи систем обслуговування, більш впливовий результат має розподіл ймовірності часткових сум генерованих послідовностей, на яку й покажемо значний вплив фрактальної розмірності отриманих послідовностей.

3. Оцінка статистичних властивостей часткових сум генерованих послідовностей

З метою обґрунтування доцільності теоретичних досліджень потрібно провести експериментальне підтвердження формування фрактального трафіку на часткових сумах. Для цього було створене програмне забезпечення для генерування псевдовипадкових чисел "0" та "1". На основі використаного генератора побудовано 100 сум по 100 елементів в кожній. Результати моделювання показано на рис. 4. Як і очікувалося, в цьому випадку сума в

середньому склала значення близьке до $M(S)=49.42$ (теоретично 50) з дисперсією $D(S)=24.04$ (теоретично 25). Тепер потрібно пересвідчитися в порушенні значення дисперсії при використанні генератора на скінченому автоматі.

Перший дослід проведено з генератором для якого ймовірність змінити стан на протилежний складає $\lambda=0.5$. Результати показано на рис. 5. Розрахунок математичного очікування суми отриманих елементів є $M(S_{0.5})=49.75$, дисперсія складає $D(S_{0.5})=28.15$. Отримані результати є близькими до теоретичних, які отримано в разі використання незалежних випробувань. В якості висновку можна стверджувати, що при $\lambda=0.5$ генератор на скінченому автоматі є аналогом генератора випадкових чисел.

Для наочності результатів далі проведено дослід при значеннях ймовірності змінити стан λ значно відмінних від 0.5, а саме при $\lambda=0.05$ та $\lambda=0.95$.

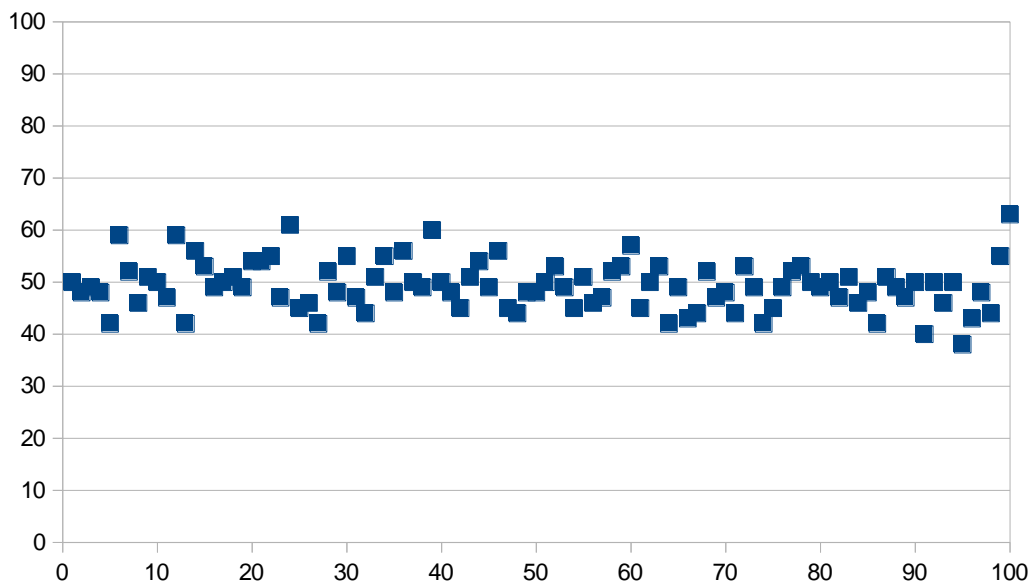


Рис. 4. Випробування з отримання часткових сум зі 100 послідовних значень при незалежних випробуваннях $M(S)=49.42$, $D(S)=24.04$

Експеримент при високій ймовірності системи змінити свій стан ($\lambda=0.95$), генерований ряд має вкрай малу чисельність довгих серій з “1” та “0”. Графік такої послідовності насичений високочастотними складовими, й намагається змінити попередню динаміку – ряд є антиперсистентним. Графік результату рахування 100 генерованих значень показаний на рис. 6. Цей графік характерний тим, що отримані суми мало відрізняються від математичного очікування, дисперсія суми є малою: $M(S_{0.95})=50.26$, $D(S_{0.95})=1,31$.

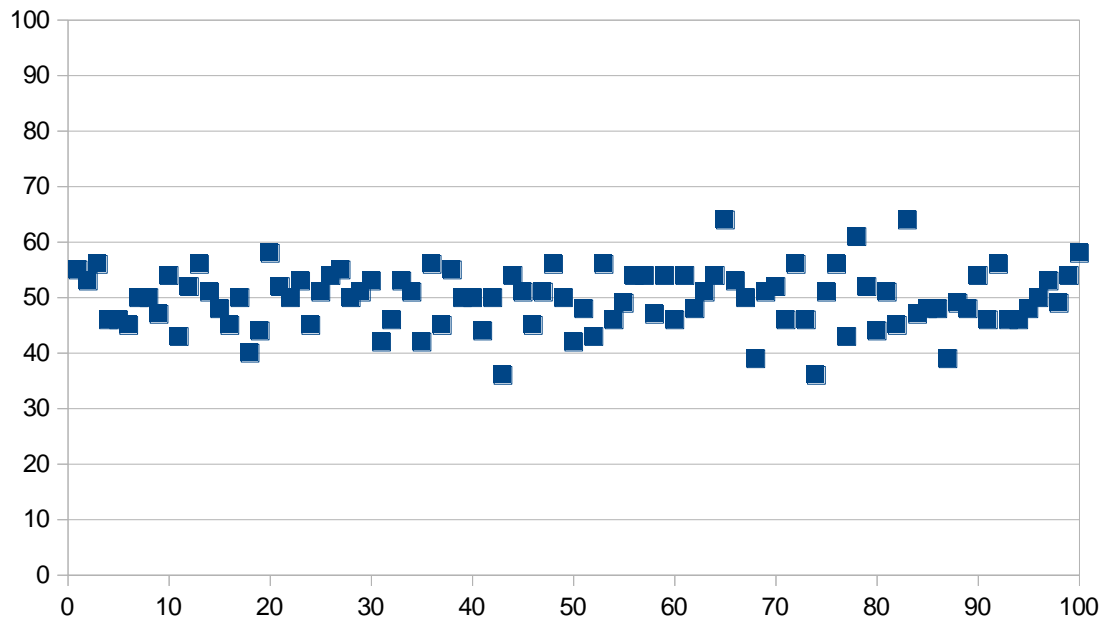


Рис. 5. Випробування з отримання часткових сум зі 100 послідовних значень при $\lambda=0.5$, $M(S_{0.5})=49.75$, $D(S_{0.5})=28.15$

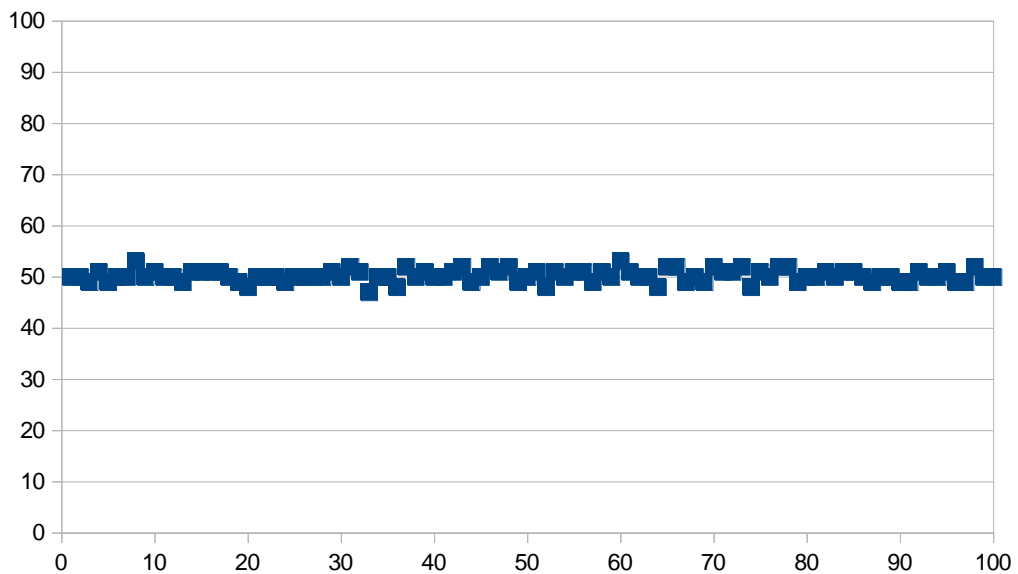


Рис. 6. Випробування з отримання часткових сум зі 100 послідовних значень при $\lambda=0.95$, $M(S_{0.95})=50.26$, $D(S_{0.95})=1.31$

Натомість дослід для малої ймовірності переходу в інший стан ($\lambda=0.05$), показує наявність довгих серій, які складаються лише з “0” та “1”. При цьому суми рядів по 100 значень розкидані по всьому дозволеному діапазоні (рис. 7).

В результаті математичне очікування суми ряду є незмінним (в межах статистичної похибки) $M(S_{0.05})=45.46$, а дисперсія приймає досить значну величину: $D(S_{0.05})=360.68$.

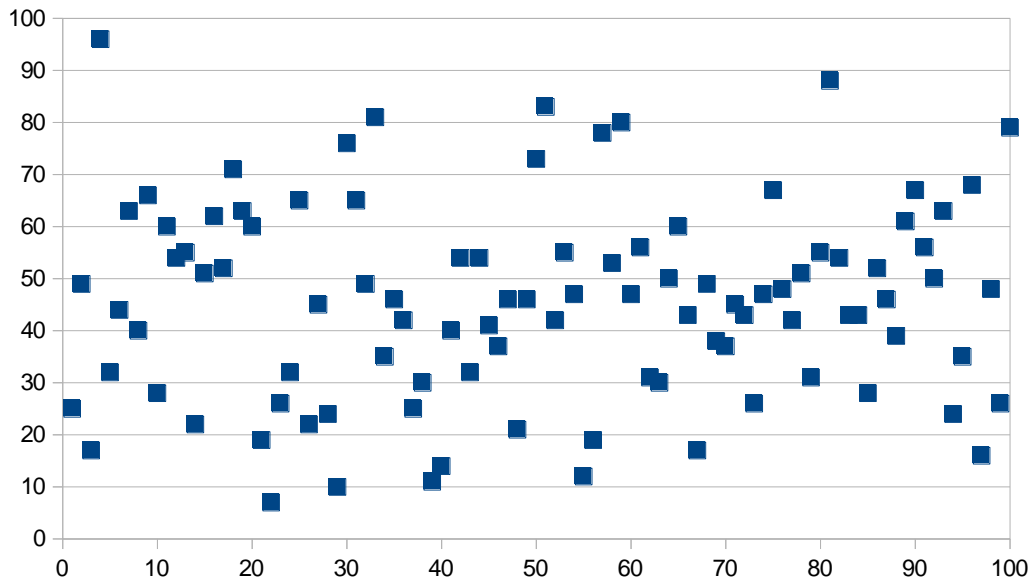


Рис. 7. Випробування з отримання часткових сум зі 100 послідовних значень при $\lambda=0.05$ $M(S_{0.05})=45.46$, $D(S_{0.05})=360.68$

Відповідно до побудованих графіків до експериментального генерування псевдовипадкових послідовностей, можна зробити висновок про наявність фрактальності в побудованих послідовностях. Тому задача теоретичної оцінки фрактальної розмірності послідовності, яку надає генератор, є актуальною.

4. Дослідження фрактальної властивості ряду, який отримано генератором на скінченному автоматі

На жаль, статистичні методи знаходження дисперсії часткових сум генерованих послідовностей не придатні, бо статистичні методи передбачають незалежні випробування, а фрактальна послідовність не є такою. Процес генерування суми скінченим автоматом можна для наочності розгорнути в схему, яку показано на рис. 8, генерування суми проводиться по схемі знизу догори.

Хоч представлення випадкових процесів у вигляді графів дозволяє застосувати методи пошуку аналогічні (3), однак це стосується "протяжного" часу роботи системи, коли граф на рис. 8 обмежений кількістю іспитів. Тому для пошуку фрактальної розмірності генерованих послідовностей потрібно обрати інші методи.

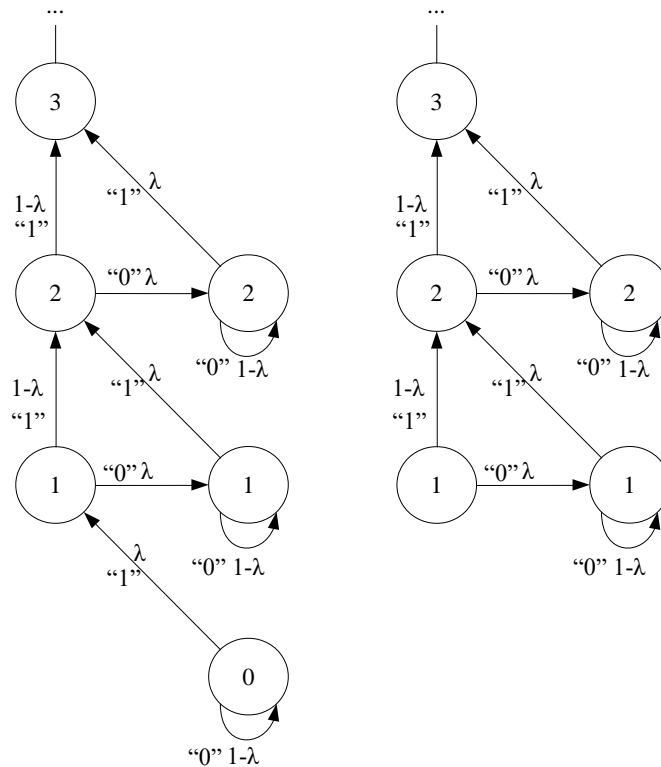


Рис. 8. Граф накопичення суми послідовних елементів при ймовірності зміни попереднього значення λ

Однією з характеристик фрактальності числової послідовності є показник Херста. Цей показник визначається за наступним співвідношенням (7):

$$M\left(\frac{R(S_n)}{\sqrt{D(S_n)}}\right) = Cn^H. \quad (7)$$

де використано позначення:

- $M(\dots)$ – математичне сподівання;
- $R(\dots)$ – розмах величини з вибірки, фактично це є різниця між максимальним та мінімальним значенням реалізації;
- $D(\dots)$ – дисперсія вибірки;
- n – кількість елементів вибірки;
- C – константа процесу;
- H – показник Херста, (лежить в межах $[0..1]$).

Показник Херста можливо визначити, якщо мати часткові суми досліджуваного ряду для різних n . Проведемо оцінювання значення показника Херсту з розбиттям ряду на часткові суми по $n=2$ та $n=3$ елементи. Для проведення розрахунків побудовано наступні таблиці (табл. 1, табл. 2):

Таблиця 1

Ймовірність утворення послідовностей генератором на графі $n=3$

№	Послідовність	Сума послідовності S_3	Ймовірність події
1	0 0 0	0	$(1-\lambda)^2/2$
2	0 0 1	1	$(1-\lambda) \lambda/2$
3	0 1 0	1	$\lambda^2/2$
4	0 1 1	2	$\lambda(1-\lambda)/2$
5	1 0 0	1	$\lambda(1-\lambda)/2$
6	1 0 1	2	$\lambda^2/2$
7	1 1 0	2	$(1-\lambda) \lambda/2$
8	1 1 1	3	$(1-\lambda)^2/2$

Таблиця 2

Ймовірність утворення послідовностей генератором на графі $n=2$

№	Послідовність	Сума послідовності S_2	Ймовірність події
1	0 0	0	$(1-\lambda)/2$
2	0 1	1	$\lambda/2$
3	1 0	1	$\lambda/2$
4	1 1	2	$(1-\lambda)/2$

В результаті отримано випадкові величини та їх ймовірності. Це дає змогу визначити їх математичні очікування $M(S_2)$ та $M(S_3)$:

$$M(S_2) = 0 \cdot (1-\lambda)/2 + 1 \cdot \lambda/2 + 1 \cdot \lambda/2 + 2 \cdot (1-\lambda)/2; \quad M(S_2) = 1. \quad R(S_2) = 2.$$

$$M(S_3) = 0 \cdot (1-\lambda)^2/2 + 1 \cdot (1-\lambda)\lambda/2 + 1 \cdot \lambda^2/2 + 2 \cdot \lambda(1-\lambda)/2 + 1 \cdot \lambda(1-\lambda)/2 + 2 \cdot \lambda^2/2 + 2 \cdot (1-\lambda) \lambda/2 + 3 \cdot (1-\lambda)^2/2;$$

$$M(S_3) = 3/2. \quad R(S_3) = 3.$$

Після визначення середніх значень можна знайти дисперсії часткових сум:

$$D(S_2) = (0-1)^2 \cdot (1-\lambda)/2 + (1-1)^2 \lambda/2 + (1-1)^2 \lambda/2 + (1-2)^2 \cdot (1-\lambda)/2; \quad D(S_2) = 1-\lambda.$$

$$D(S_3) = (0-3/2)^2 (1-\lambda)^2/2 + (1-3/2)^2 (1-\lambda) \lambda/2 + (1-3/2)^2 \lambda^2/2 + (2-3/2)^2 \lambda(1-\lambda)/2 + (1-3/2)^2 \lambda(1-\lambda)/2 + (2-3/2)^2 \lambda^2/2 + (2-3/2)^2 (1-\lambda) \lambda/2 + (3-3/2)^2 (1-\lambda)^2/2;$$

$$D(S_3) = 2\lambda^2 - 4\lambda + 9/4.$$

Тепер, скориставшись (7) отримаємо систему рівнянь (8):

$$\begin{cases} \frac{2}{\sqrt{1-\lambda}} = C2^H, \\ \frac{3}{\sqrt{2\lambda^2 - 4\lambda + 9/4}} = C3^H. \end{cases} \quad (8)$$

Для знаходження показника Херста проведемо ділення рівнянь та логарифмування обох частин:

$$\ln\left(\frac{2\sqrt{2\lambda^2 - 4\lambda + 9/4}}{3\sqrt{1-\lambda}}\right) = \ln\left(\left(\frac{2}{3}\right)^H\right)$$

Завдяки логарифмування, маємо можливість винести показник за операцію логарифмування як множник, та виразити показник Херста (9):

$$H = \log_{2/3}\left(\frac{2\sqrt{2\lambda^2 - 4\lambda + 9/4}}{3\sqrt{1-\lambda}}\right). \quad (9)$$

5. Валідація отриманих результатів

Аналогічно методу, які представлені в таблиці 1 та 2, також проведено виведення оцінювання розмаху та дисперсії для послідовності чотирьох генерованих чисел (10):

$$M(S_4)=2; R(S_4)=4; D(S_4)=4(1-\lambda)^3+2(1-\lambda)\lambda^2+2(1-\lambda)^2\lambda. \quad (10)$$

На основі (10) та до цього отриманих значень розмахів та дисперсій отримано аналітичні наближення критерію Херста через ймовірність зміни стану (11):

$$\begin{aligned} H_{2/3}(\lambda) &= 1 - \log_{2/3}\left(\frac{2\sqrt{2\lambda^2 - 4\lambda + 9/4}}{3\sqrt{1-\lambda}}\right), \\ H_{2/4}(\lambda) &= 1 - \log_{2/4}\left(\frac{2\sqrt{4(1-\lambda)^3 + 2(1-\lambda)\lambda^2 + 2(1-\lambda)^2\lambda}}{4\sqrt{1-\lambda}}\right), \\ H_{3/4}(\lambda) &= 1 - \log_{3/4}\left(\frac{3\sqrt{4(1-\lambda)^3 + 2(1-\lambda)\lambda^2 + 2(1-\lambda)^2\lambda}}{4\sqrt{2\lambda^2 - 4\lambda + 9/4}}\right). \end{aligned} \quad (11)$$

Кожне з співвідношень, для випадку рівносильності випадковому процесу при $\lambda=0.5$, дають величини передбачені експериментально: $H_{2/3}(0.5)=H_{2/4}(0.5)=H_{3/4}(0.5)=0.5$, що відповідає фрактальній розмірності $F=2-0.5=1.5$ і є розмірністю для випадкового процесу.

Причиною, що формули на кортежах різної довжини мають різні вираження є логічним продовженням того, що персистентні ряди мають довгі залежності, що не можна виразити короткими кортежами з 2..4 елементів.

Наочно це можна побачити з використанням дисперсії сум з шести елементів на графіку з рис. 9:

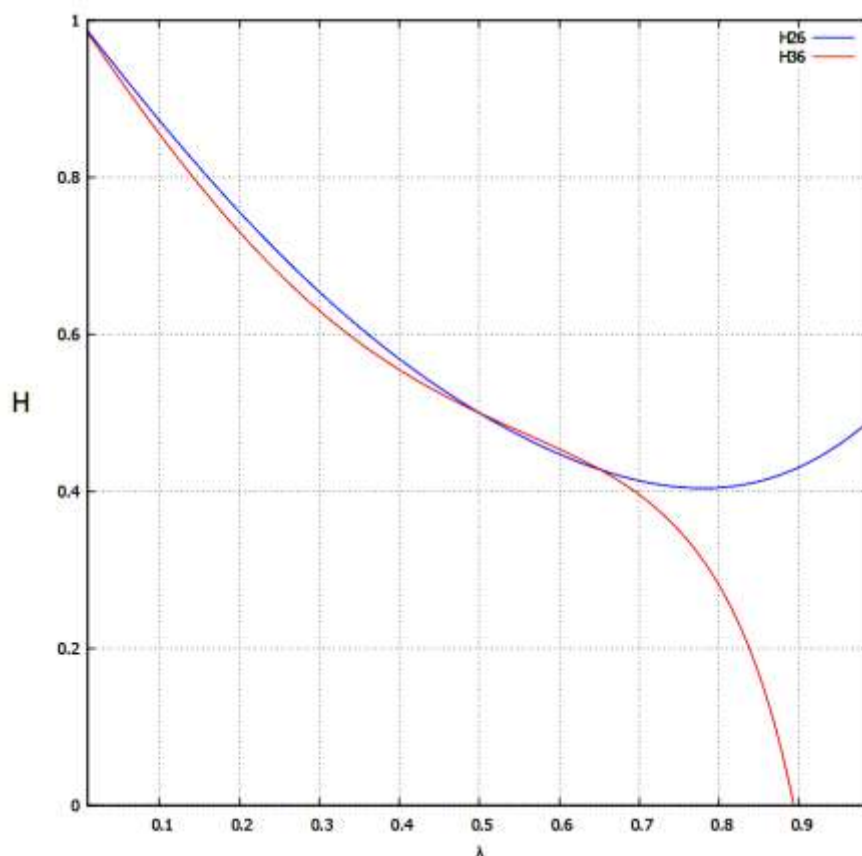


Рис. 9. Аналітичні наближення до оцінки критерію Херста та “катастрофа” для антиперсистентних рядів

Отримані співвідношення (11) можуть використовуватися для досить точної оцінки фрактальної розмірності генерованих бінарних послідовностей за допомогою генератора на скінченному автоматі. Оцінка є надійною для персистентних рядів, а для антиперсистентних рядів оцінка вимагає вдосконалення.

Покращення оцінки авторами планується здійснити за допомогою математичних аналітичних пакетів, які мають можливість виконувати аналітичні перетворення досить довгих виразів. На жаль, описаний метод побудови аналітичних наближень не може бути застосовний для виведення точної формули, бо функція рахування кількості одиниць в бінарному вираженні натурального числа не є диференційованою (імовірно не виражається аналітично з використанням гладких функцій). Оцінити вигляд такої функції можна на рис. 10.

На основі побудованих оцінок критерію Херста, авторами висунуто наступну гіпотезу:

$$n \rightarrow \infty : H(\lambda) = 1 - \lambda, \quad (12)$$

яку в подальшій роботі планується довести або спростувати.

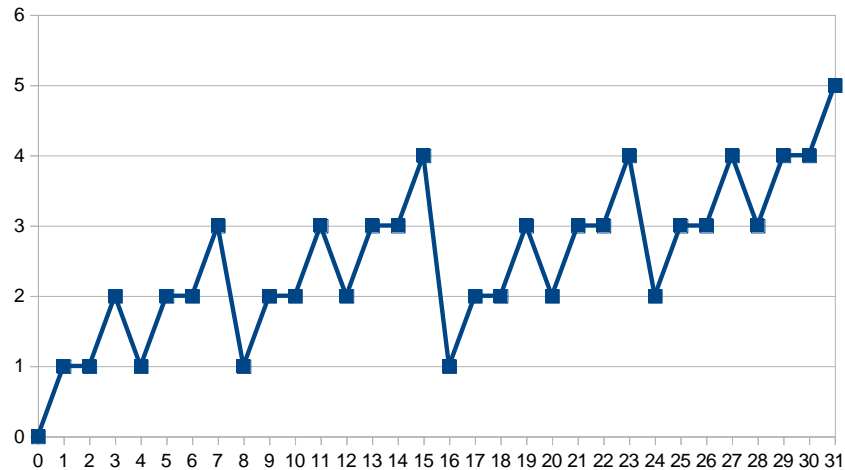


Рис. 10. Кількість одиничних бітів в бінарному записі натурального числа

6. Керування інтенсивністю генерованого трафіку на основі скінченного автомату

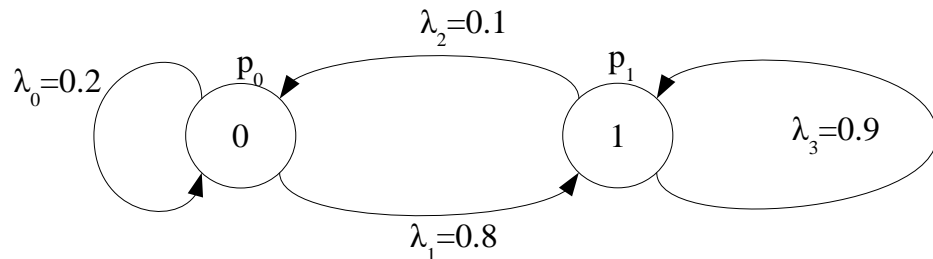
Інтенсивність трафіку телекомунікаційної мережі може визначатися, в залежності від мети дослідження та методах захоплення передатчиком каналу зв'язку, по різному. Тому далі використано поняття пакетної передачі інформації фіксованого об'єму. Відповідно до цього генерування пакетного трафіку відповідає бінарному сигналу, коли пункт призначення конкретного пакету в момент передачі в сегменті мережі не має значення, бо перенаправленням пакетів до споживачів в інші сегменти займається маршрутизатор. В такій інтерпретації достатнє визначення інтенсивності трафіку, як ймовірність передачі пакету в даний квант часу і вимірюється від 0 до 1 (τ).

До цього моменту розглядався генератор трафіку для якого ймовірність виходу "0" та "1" були рівними, тобто інтенсивність трафіку складав 0.5. Для проведення імітаційних дослідів та теоретичних пошуків необхідно мати можливість керувати інтенсивністю генерованих пакетів, тобто ймовірністю генерування "1": $p(1)$.

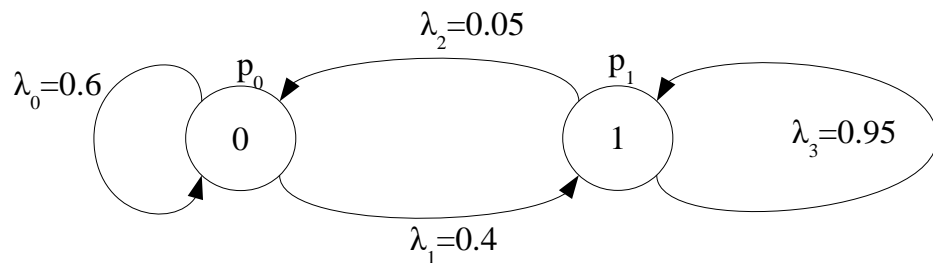
Вище було отримано значення ймовірності $p(1)$ та $p(0)$, що записано співвідношеннями (5). За інтенсивність трафіку прийемо $\tau = p(1)$, і знайдемо коефіцієнти моделі генератора трафіку рис. 3: $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$. Для цього скористаємося відношеннями (5) й отримаємо наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} 1 - \tau = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}, \\ \tau = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2}. \end{cases} \quad (13)$$

Однак система не має єдиного розв'язку. Наприклад, розглянемо дві реалізації генераторів послідовностей (рис. 11):



а) Варіант генератора з підвищеною ймовірністю зміни стану



б) Варіант генератора зі зменшеною ймовірністю зміни стану

Рис. 11. Варіанти генераторів бінарних послідовностей однакової інтенсивності

Як видно з рис. 11, інтенсивності потоку одиничних бітів $\tau = 0.8 / (0.8 + 0.1) = 0.4 / (0.4 + 0.05) = 8/9$. Тобто, реалізації генераторів мають однакові значення ймовірності перебування в одиничному стані. Однак, ймовірності залишитися в поточному стані й наступного кроку більші в реалізації генератора б): $0.6 > 0.2$, $0.95 > 0.9$ відповідно. Завдяки цьому генератор б) видає на вихід більш персистентний ряд. Порівняємо роботу генераторів за результатами побудованих послідовностей (рис. 12, 13).

Відповідно до минулих прикладів генерування послідовностей з інтенсивністю $\tau = 0.5$, дві послідовності бітів зображених на рис. 12 та 13, мають однакову інтенсивність трафіку, але мають різну фрактальну розмірність. Оцінки фрактальної розмірності критерієм Херста за формулами (11) тут не є дійсними, бо дані оцінки отримання для симетричного генератора.

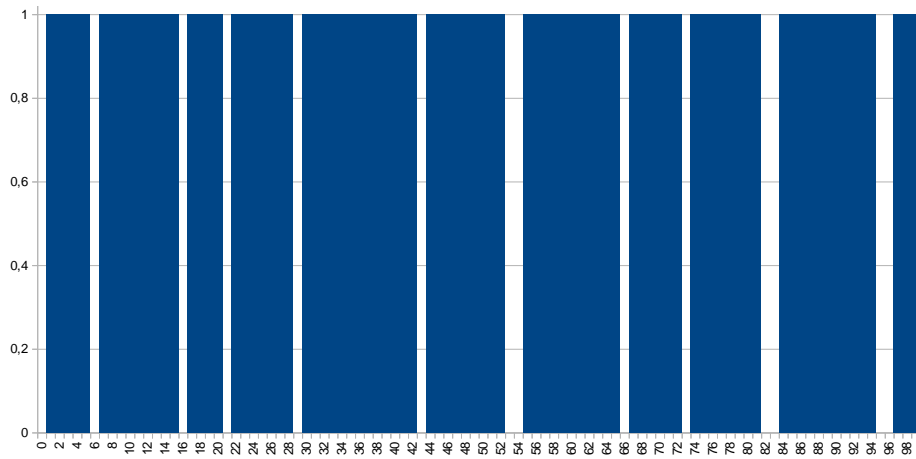


Рис. 12. Результат генерування 100 бітів генератор а), ($\tau=8/9$)

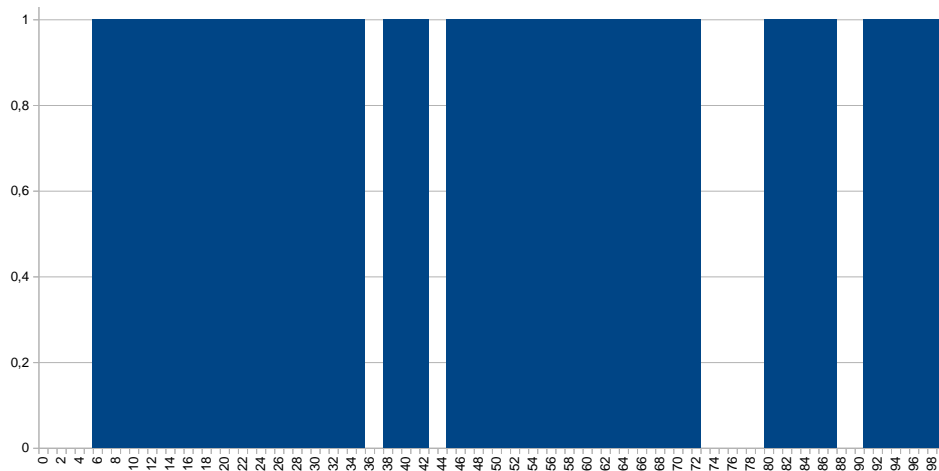


Рис. 13. Результат генерування 100 бітів, генератор б), ($\tau=8/9$)

Тому для однозначного визначення параметрів λ_1, λ_2 , зафіксуємо їх суму (14):

$$g = \lambda_1 + \lambda_2, 0 < g < 2, \quad (14)$$

тоді система (13) матиме єдиний розв'язок. В результаті доповнення системи (13) маємо наступні вирази для пошуку ймовірностей переходів (15):

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= g\tau, \\ \lambda_2 &= g(1 - \tau), \\ \lambda_0 &= 1 - \lambda_1, \\ \lambda_3 &= 1 - \lambda_2. \end{aligned} \quad (15)$$

Але для пошуку за (15) потрібно врахувати, що не для кожного обраного $0 < g < 2$ можливо реалізувати інтенсивність трафіку τ . Потрібно посилити обмеження що до вибору g :

$$\begin{cases} 0 < g < 1/\tau, \\ 0 < g < 1/(1 - \tau). \end{cases} \quad (16)$$

Тоді при фіксуванні суми (14) співвідношення (15) з врахуванням додаткових обмежень (16) дають змогу визначити однозначно коефіцієнти генератора рис. 3 $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$.

Висновки

У даній роботі для реалізації методу генерування фрактального трафіку за допомогою моделі генератора на графі були вирішені наступні завдання:

– Показано актуальність задачі створення генераторів фрактальних бінарних послідовностей без використання нескінченних розподілів.

– Запропоновано використати генератор фрактальної бінарної послідовності на основі скінченного автомату.

– Показано можливість попереднього визначення фрактальної розмірності генерованого трафіку при інтенсивності $\tau=0.5$.

– Проведено аналітичні оцінки показника Херста генерованої бінарної послідовності при інтенсивності трафіку $\tau=0.5$.

– Показано варіативність фрактальної розмірності бінарної послідовності й при інших інтенсивностях τ .

– Виведено аналітичні вирази для отримання параметрів генератора з заданою густиною вихідних бітів з керуванням їх фрактальної розмірності.

Потрібно продовжити роботу над покращенням аналітичних оцінок та їх узагальненням на довільну інтенсивність генерованого трафіку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Д. Броек, *Основы механики разрушения*, М.: Высшая школа, 1980.
2. К. В. Ушанев, “Имитационные модели системы массового обслуживания типа Ра/М/1, Н2/М/1 и исследование на их основе качества обслуживания трафика со сложной структурой”, *Системы управления, связи и безопасности*. №4, с.217 – 251, 2015.
3. Е. В. Добровольский, та О. Л. Нечипорук, “Моделирование сетевого трафика с использованием контекстных методов”, *Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова*, № 1, с.24–32, 2005.
4. С. Г. Семенов, Є. В. Мелешко, та Я. В. Ілюшко, “Математическая модель мультисервисного канала связи на основе экспоненциальной GERT-сети”, *Системы озброєння і військова техніка*, ХУПС, № 3(27), с.64–67, 2011.

2.4. Оцінка якості сіткових 3D-об'єктів при різних швидкостях цифрового потоку

У теперішній час однією з актуальних задач у сучасному об'ємному телебаченні є удосконалення сіткових методів створення передавання і візуалізації тривимірного зображення [1].

Для збільшення швидкості обробки реальних об'єктів в роботі використовуються Wavelet-перетворення: Daubechies 4, Wavelet Coiflets 2, Symlets 4, Discrete Meyer, Biorthogonal 2.4, Biorthogonal 4.4 [2].

Досліджувані об'єкти для подальшої обробки не піддавалися додатковим спотворень.

Основна частина

Для досліджуваних сіткових об'ємних об'єктів при використанні Daubechies 4, на виході виходять наступні коефіцієнти розкладання:

- коефіцієнти апроксимації;
- коефіцієнти розкладання по горизонталі;
- коефіцієнти розкладання по вертикалі;
- коефіцієнти розкладання по діагоналі.

Також, для підвищення швидкості роботи алгоритму необхідно відфільтрувати незначущі коефіцієнти (які фактично не впливають на відновлення об'єкта). Визначаємо даний поріг значимості аналітично, при цьому отримуємо глибину Wavelet-перетворення $n = \log_2(\max(C_{i,j}))$, де $C_{i,j} \geq 2^n$ – це заданий поріг. Отже, ті коефіцієнти, які задовольняють порогу, залишаються, а інші обнуляються (рис.1 – 4).

При побудові статистичного розподілу елементів тривимірного зображення після відсіювання незначущих коефіцієнтів зображення з різними коефіцієнтами розкладання можна побачити, що зміни по яскравості і якості зображення не змінилося. Цей розподіл є графіком статистичного розподілу елементів тривимірного зображення, в якому по горизонтальній осі представлена ймовірність попадання елементів в масив, а по вертикалі – кількість елементів зображення.

Вивчивши статистичні розподіли (рис. 1 – 4), можна отримати загальне уявлення про правильність відновлення і чіткості об'єкту і оцінити необхідну корекцію відсіяних коефіцієнтів і при подальших обробках.

Також в дослідженні можна отримати відліки миттєвих значень координат об'єкту, які показують, як розподілені довжини векторів об'єкту по трьох

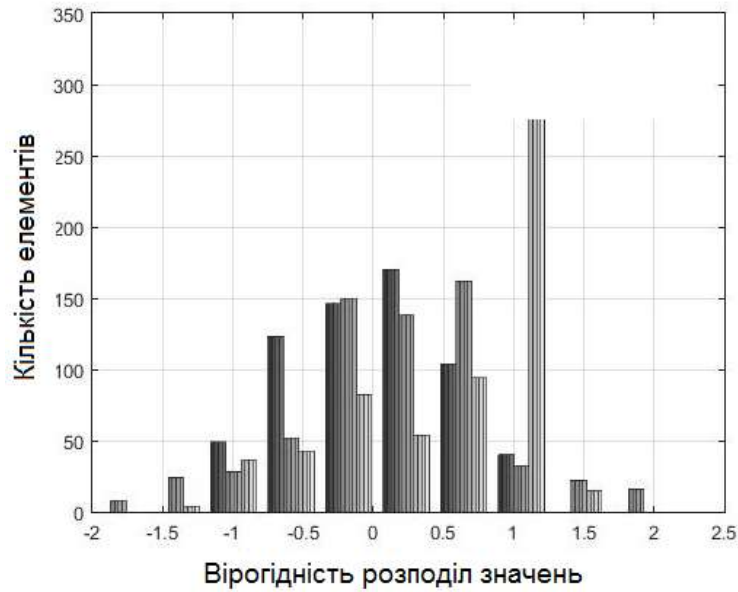


Рис.1. Статистичний розподіл коефіцієнтів апроксимації

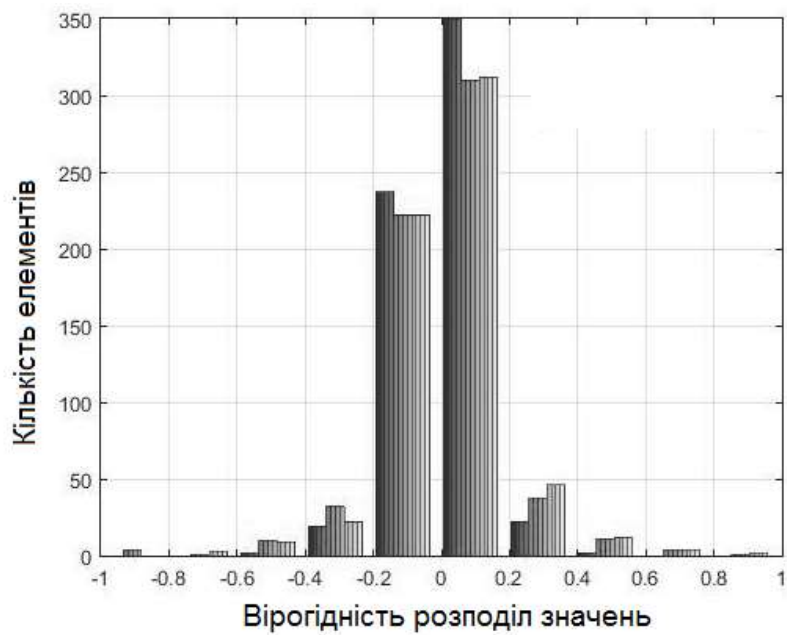


Рис.2. Статистичний розподіл горизонтальних складових координат

координатах. На рисунку 5 показано, які відображаються відліки миттєвих значень по горизонталі для осі X . Можна зробити дослідження та отримати відліки для значень апроксимацій, для миттєвих значень по вертикалі для X , Y , Z .

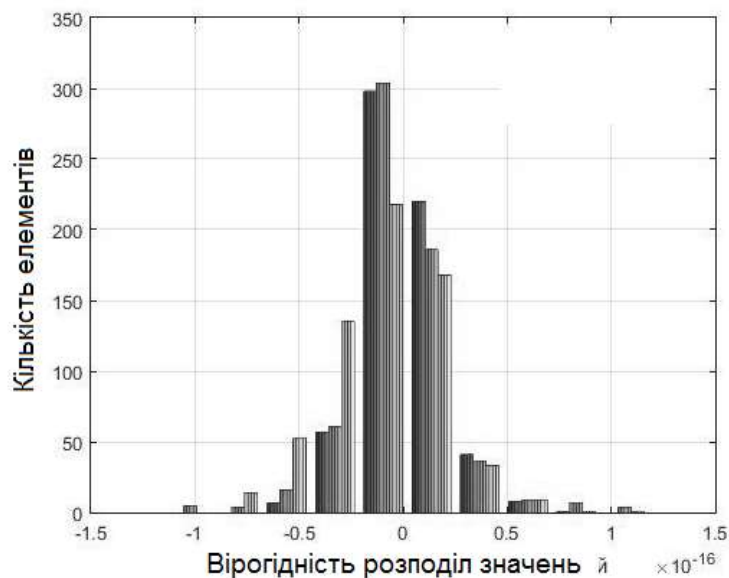


Рис.3. Статистичний розподіл вертикальних складових координат

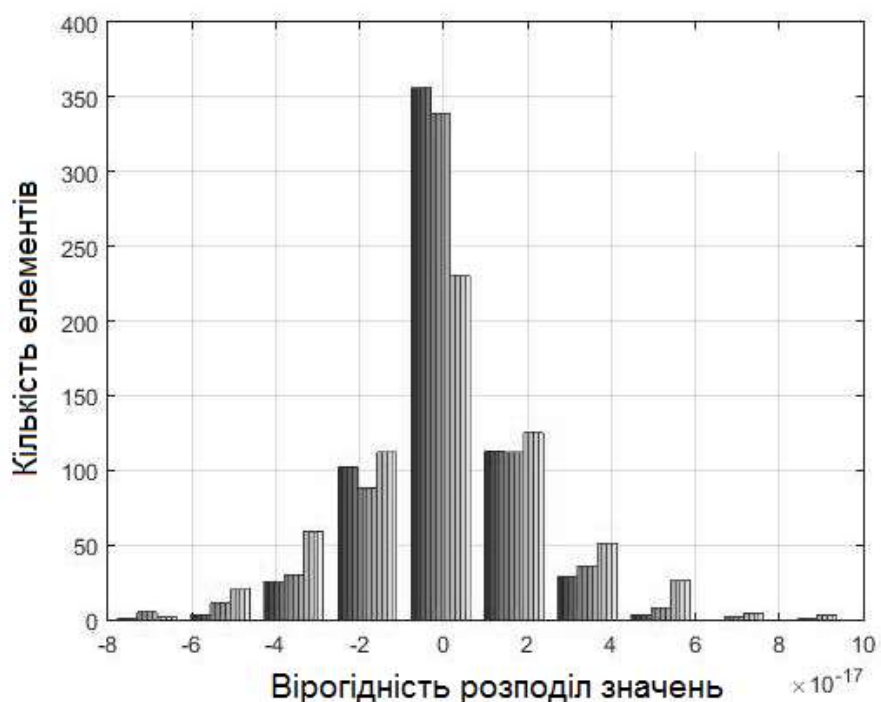


Рис.4. Статистичний розподіл діагональних складових координат

Необхідно відмітити, що при зворотному Wavelet- перетворенні враховуються усі коефіцієнти розкладання, у тому числі і обнулені. Що і показує нам, кількість елементів відновленого об'єкту співпадає з початковими даними.

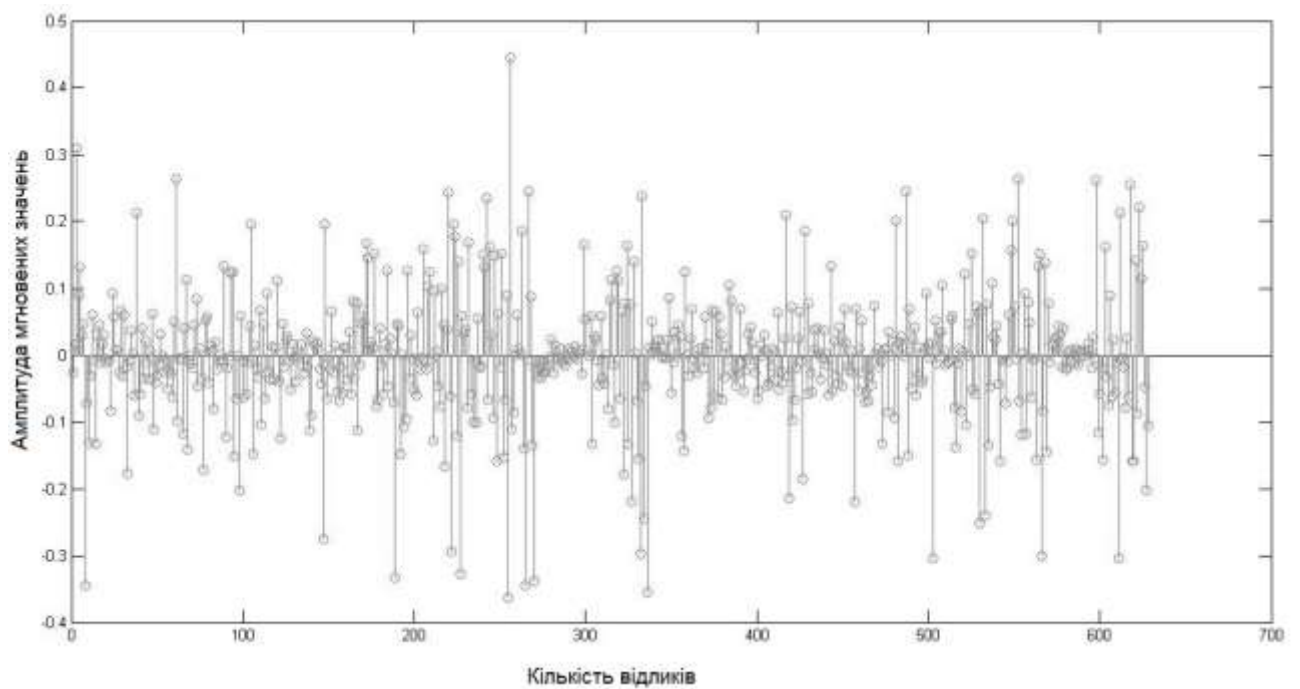


Рис.5. Відліки миттєвих значень по горизонталі для осі X

При оцінці якості сіткових 3D-об'єктів при різних швидкостях цифрового потоку, необхідно використовувати швидкості передачі цих тривимірних об'єктів використовуємо цифрові відеостандарти 4: 2: 2 і 4: 4: 4. Швидкість передачі для вибраних відеостандартів 4: 2: 2 (1) і 4: 4: 4 (2) і для параметрів досліджуваних об'єктів виглядають таким чином [3]:

$$V_p = R * 2 * W * H * F \quad (1)$$

$$V_p = R * 3 * W * H * F \quad (2)$$

де V_p – швидкість передачі даних об'єкту, біт/с;

W та H – ширина і висота кадру в пікселях;

R – розрядність для кожної компоненти, біт;

F – кадрова частота, кадрів/с.

Оскільки ми досліджуємо тривимірні об'єкти нам необхідно перейти з тривимірного в двовимірний простір. Координати мають наступний вигляд:

$$X_c = x + kx * z, \quad (3)$$

$$Y_c = y + ky * z, \quad (4)$$

де X_c та Y_c – координати на площині;

x, y, z – координати в просторі;

k_x, k_y – коефіцієнти, які беруться по модулю і не перевищують значення одиниці. Коефіцієнт беремо рівними 0,5.

При переході з тривимірного простору в двовимірне потрібно врахувати той факт, що використовується децимація і кліппінг вершин об'єкту, тобто проріджування кожної вершини, що повторюється. Це дозволяє відновлювати об'єкт в двовимірному просторі з високою чіткістю.

Відповідно, ширину і висоту кадру досліджуваного об'єкту розрахуємо таким чином:

$$W = X_{max} - X_{min}, \quad (5)$$

$$H = Y_{max} - Y_{min}, \quad (6)$$

де X_{max} та Y_{max} – максимальна кількість елементів розкладання в двовимірному просторі по осях X та Y .

X_{min} та Y_{min} – мінімальна кількість елементів розкладання в двовимірному просторі по осях X та Y .

Для дослідження швидкості цифрового потоку від 3D об'єкту використовуємо пряме і зворотне Wavelet- перетворення Daubechies 4-го порядку, задаємося вибраним порогом відношення сигнал/шум в 35дБ.

Розрахуємо швидкість передачі досліджуваних об'єктів для вибраного відеостандарту 4: 2: 2. Координати об'єкту заздалегідь були перетворені в двовимірний простір з нормованими розмірами по ширині в межах від – 1 до 1 і по висоті від – 1,5 до 1,5.

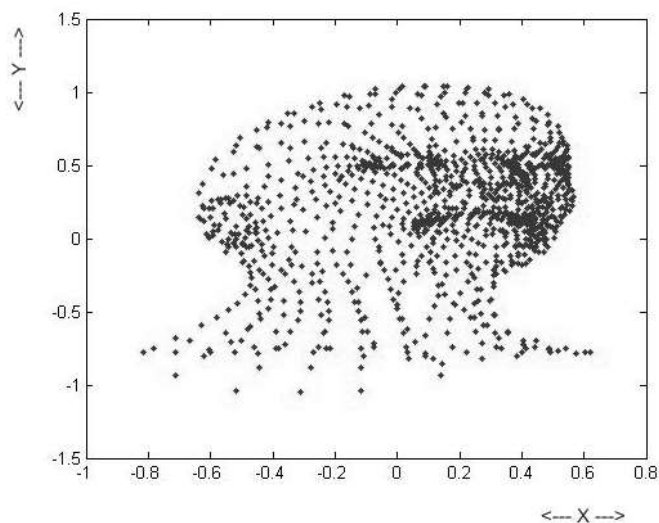


Рис.6. Об'єкт Head в двовимірному виді

Таблиця 1

**Розрахунок швидкість передача даних об'єкту Head,
для формату 4: 2: 2 для варіантів чересстрочної і построчної розгортки
з разрядностями від 8 до 64 біт.**

Кадрів в секунду \ Кіл-ть біт	25 (чересстрочна) кбіт/с	50 (построчна) кбіт/с
8	0,158	0,308
16	0,166	0,316
32	0,182	0,332
64	0,214	0,364

Об'єкт Bunny в двовимірному просторі перетворився в 2D область з висотою 15 пікселів і шириною 17 пікселів.

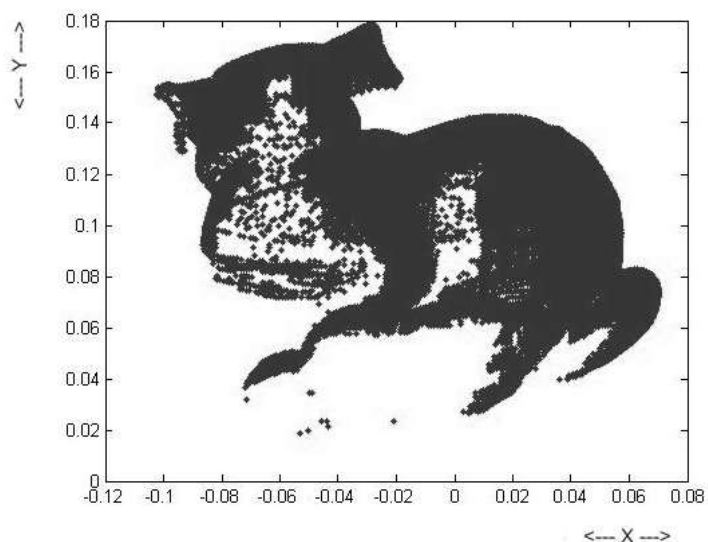


Рис.7. Об'єкт Bunny в двовимірному виді

Таблиця 2

Розрахунок швидкість передача даних об'єкту Bunny, для формату 4: 2: 2

Кадрів в секунду \ Кіл-ть біт	25 (чересстрочна) кбіт/с	50 (построчна) Мбіт/с
8	165,1	0,33
16	303,2	0,66
32	606,5	1,32
64	1,32 Мбит/с	2,64

Об'єкт Angel (рис.7) в двовимірному просторі перетворився в область з висотою 23 пікселів і шириною 14 пікселів.

Таблиця 3

Расчет скорость передача данных объекта Angel, для формата 4:2:2

Кадрів в секунду Кіл-ть біт	25 (чересстрочна) кбіт/с	50 (построчна) кбіт/с
8	16,3	32,7
16	24	48,2
32	31,2	62,5
64	46,8	93,8

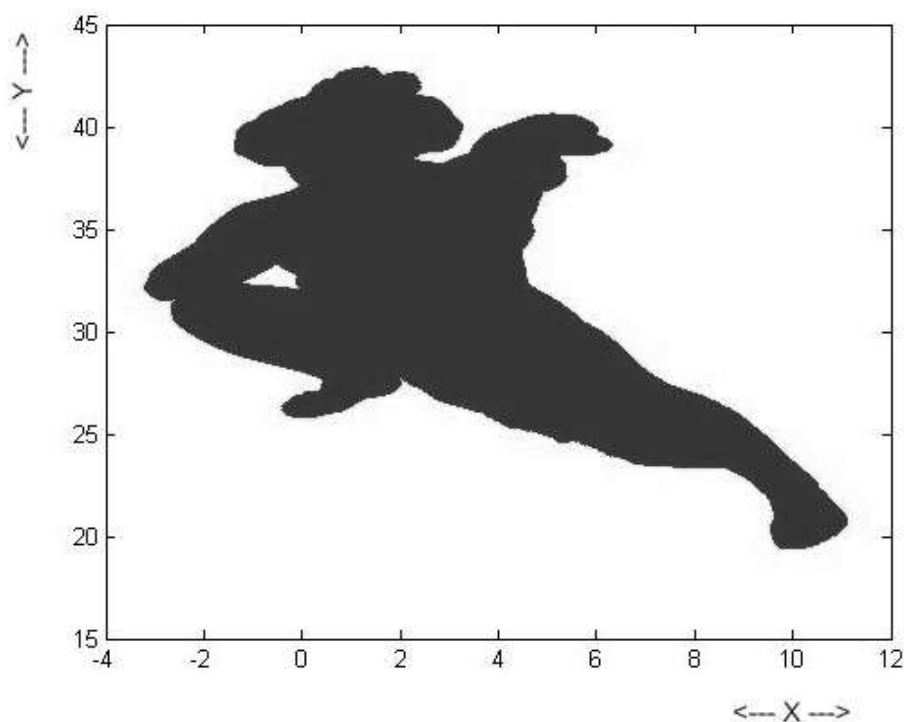


Рис.8. Об'єкт Angel в двовимірному виді

Об'єкт Dragon в двовимірному просторі перетворився з висотою 156 пікселів і шириною 198 пікселів.

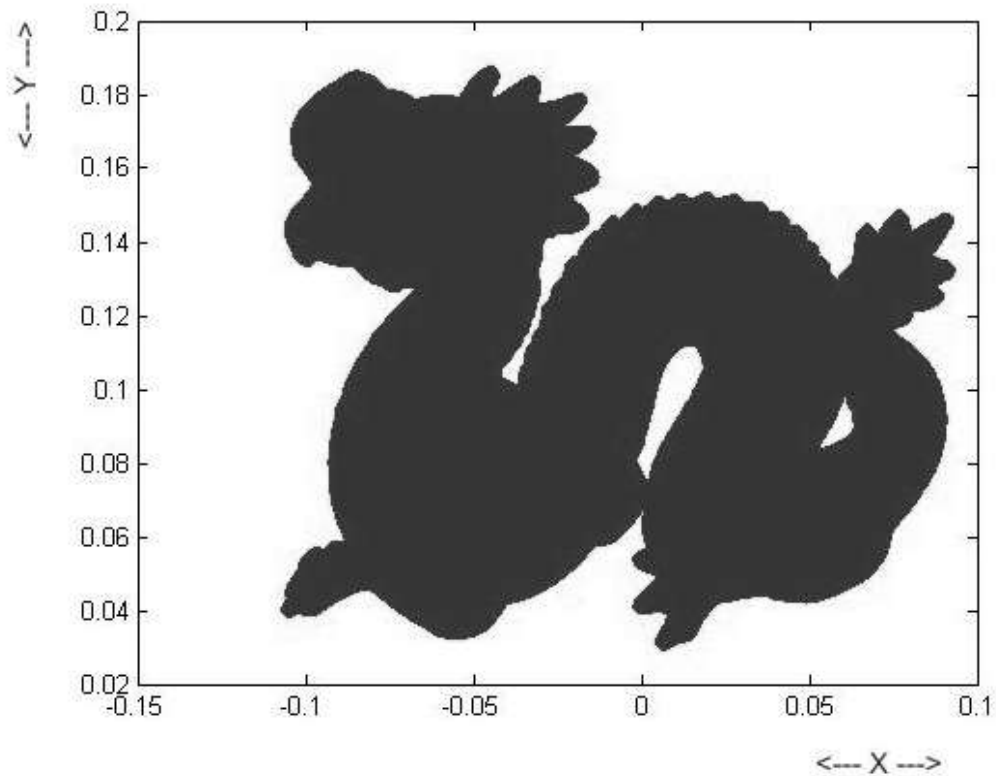


Рис.9. Об'єкт Dragon в двумерном виде

Таблиця 4

Розрахунок швидкість передача даних об'єкту Dragon, для формату 4: 2: 2

Кіл-ть біт	Кадрів в секунду	25 (чересстрочна) Мбіт/с	50 (построчна) Мбіт/с
	8		1,54
16		3,2	6,4
32		6,5	10,4 с
64		8,2	15,1

Аналогічно розрахуємо швидкість передачі даних досліджуваних сіткових 3D об'єктів для відеостандарту формату 4: 4: 4, використовуючи формули (1 – 6).

Таблиця 5

Розрахунок швидкість передача даних об'єкту Head, для формату 4: 4: 4

Кадрів в секунду Кіл-ть біт	25 кбіт/с	50 кбіт/с
8	1,8	3,6
16	3,6	7,2
32	7,2	14,4
64	14,4	28,8

Таблиця 6

Розрахунок швидкість передача даних об'єкту Bunny, для формату 4: 4: 4

Кадрів в секунду Кіл-ть Біт	25 кбіт/с	50 кбіт/с
8	165,1	330,2
16	330,2	660,5
32	660,5	1,32 Мбіт/с
64	1,32 Мбіт/с	2, 64Мбіт/с

Таблиця 7

Розрахунок швидкість передача даних об'єкту Angel, для формату 4: 4: 4

Кадрів в секунду Кіл-ть Біт	25 кбіт/с	50 кбіт/с
8	196,2	393,4
16	392,1	786,7
32	782,3	1571,1
64	157,1	3143,2

Таблиця 8

Розрахунок швидкість передача даних об'єкту Dragon, для формату 4: 4: 4

Кадрів в секунду Кіл-ть біт	25 Мбіт/с	50 Мбіт/с
8	18,5	37,3
16	37,1	47,2
32	74,2	74,2
64	148,5	297,1

Таблиця 9

Швидкість передачі скомпонованной сцени з сіткових 3D об'єктів у форматі 4: 2: 2 для потоку DVB – T2

Кадрів в секунду Кіл-ть біт	V_{Σ} для 25	$n_{кан}$	V_{Σ} для 50	$n_{кан}$
8	1,7 Мбіт/с	26	3,13 Мбіт/с	14
16	3,5 Мбіт/с	12	6,46 Мбіт/с	7
32	7,1 Мбіт/с	6	10,4 Мбіт/с	4
64	9,5 Мбіт/с	4	15,2 Мбіт/с	2

Таблиця 10

Швидкість передачі скомпонованной сцени з сіткових 3D об'єктів у форматі 4: 2: 2 для потоку IP-TV

Кадрів в секунду Кіл-ть Біт	V_{Σ} для 25	$n_{кан}$	V_{Σ} для 50	$n_{кан}$
8	1,7 Мбіт/с	57	3,13 Мбіт/с	31
16	3,5 Мбіт/с	28	6,46 Мбіт/с	15
32	7,1 Мбіт/с	13	10,4 Мбіт/с	9
64	9,5 Мбіт/с	10	15,2 Мбіт/с	6

Для визначення швидкості передачі даних об'ємних об'єктів при відношенні сигнал / шум 35дБ для ефірного наземного цифрового телебачення другого покоління DVB – T2 [4] нам необхідно знати максимальну швидкість передачі даних, що відповідає 45,5 Мбіт/с. Для цифрового Інтернет-телебачення IP – швидкість передачі даних можна прийняти рівною 100 Мбіт/с, табл. 9–10.

Таблиця 11

Кількість необхідних каналів формату 4: 2: 2 для скомпозованної сцени з чотирьох сіткових 3D об'єктів

Кадрів в секунду Кіл-ть Біт	V_{Σ} для 25 Мбіт/с	$n_{кан}$	V_{Σ} для 50 Мбіт/с	$n_{кан}$
8	1,7	0,2	3,13	0,4
16	3,5	0,4	6,46	0,8
32	7,1	0,88	10,4	1,3
64	9,5	1,18	15,2	1,9

Отже, можемо підрахувати кількість каналів з пропускною спроможністю 8 Мбіт/с, які увійдуть до загальної швидкості цифрового потоку досліджуваних чотирьох сіткових 3D об'єктів табл.11 – 12:

$$\frac{V_{\Sigma}}{8\text{Мбіт/с}} = n_{кан}$$

Таблиця 12

Кількість необхідних каналів формату 4: 2: 2 для передачі скомпозованної сцени з двох об'єктів сіткових 3D (Head і Bunny)

Кадрів в секунду Кіл-ть Біт	V_{Σ} для 25 кбіт/с	$n_{кан}$	V_{Σ} для 50 кбіт/с	$n_{кан}$
8	1,78	0,00021	3,57	0,0004
16	2	0,00025	4	0,0005
32	2,28	0,00028	4,63	0,00058
64	2,8	0,0003	5,56	0,00069

Дані таблиць 11 – 12 представимо у вигляді графіку залежності каналної місткості від швидкості цифрового потоку об'єктної сцени.

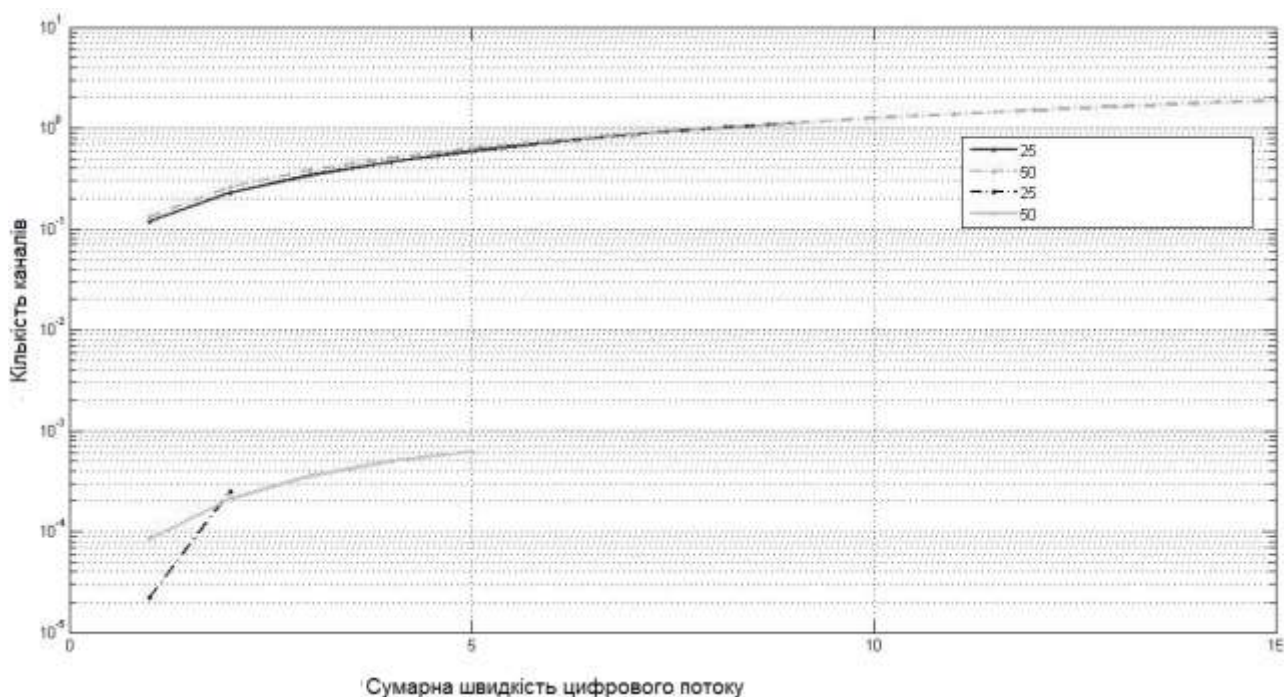


Рис.10. Залежність каналної місткості від швидкості передачі цифрового потоку об'єктної сцени формату 4: 2: 2

Апроксимуємо графік залежності каналної місткості від швидкості передачі цифрового потоку об'єктної сцени формату 4: 2: 2 сплайнами:

$$F(t) = \sum_{i=1}^{10} a_i i^{i-1},$$

для 25 кадрів в секунду для 4 досліджуваних об'єктів;

$$F(t) = \sum_{i=1}^{16} a_i i^{i-1}$$

для 50 кадрів в секунду для 4 досліджуваних об'єктів;

$$F(t) = \sum_{i=1}^3 a_i i^{i-1}$$

для 25 кадрів в секунду для 2 досліджуваних об'єктів;

$$F(t) = \sum_{i=1}^6 a_i i^{i-1}$$

для 50 кадрів в секунду для 2 досліджуваних об'єктів.

Таблиця 13

Кількість передаваних каналів скомпозованной сцени з чотирьох сіткових 3D об'єктів для формату 4: 4: 4

Кадрів в секунду Кіл-ть біт	V_{Σ} для 25 Мбіт/с	$n_{кан}$	V_{Σ} для 50 Мбіт/с	$n_{кан}$
8	27,6	3,45	54,7	6,8
16	48	6	69,1	8,6
32	89,9	11,2	106,4	13,3
64	168,2	21	213,2	26,6

Таблиця 14

Кількість передаваних каналів скомпозованной сцени з двох сіткових 3D об'єктів для формату 4: 4: 4

Кадрів в секунду Кіл-ть біт	V_{Σ} для 25 кбіт/с	$n_{кан}$	V_{Σ} для 50 кбіт/с	$n_{кан}$
8	42,7	0,005	21,3	0,002
16	85,4	0,01	42,7	0,005
32	171	0,02	85,5	0,01
64	342	0,04	171	0,02

Побудуємо за даними таблиць 13 – 14 графік залежності каналної місткості від швидкості цифрового потоку об'єктної сцени.

При дослідженні проектування сіткового 3D об'єкту в двовимірні координати було виявлено, що частина вершин накладається одна на одну, ми їх видаляємо децимацією, а також проводимо кліппинг – видаляючи невидимі вершини і відрізки.

Проведено дослідження передачі вершин, що залишилися в двовимірному полі, при чересстрочній і відрядковій телевізійних розгортках. Показано, що з метою зменшення потоку даних доцільно перед перетворенням тривимірного сіткового зображення в двовимірне проводити спектральне Wavelet-перетворення.

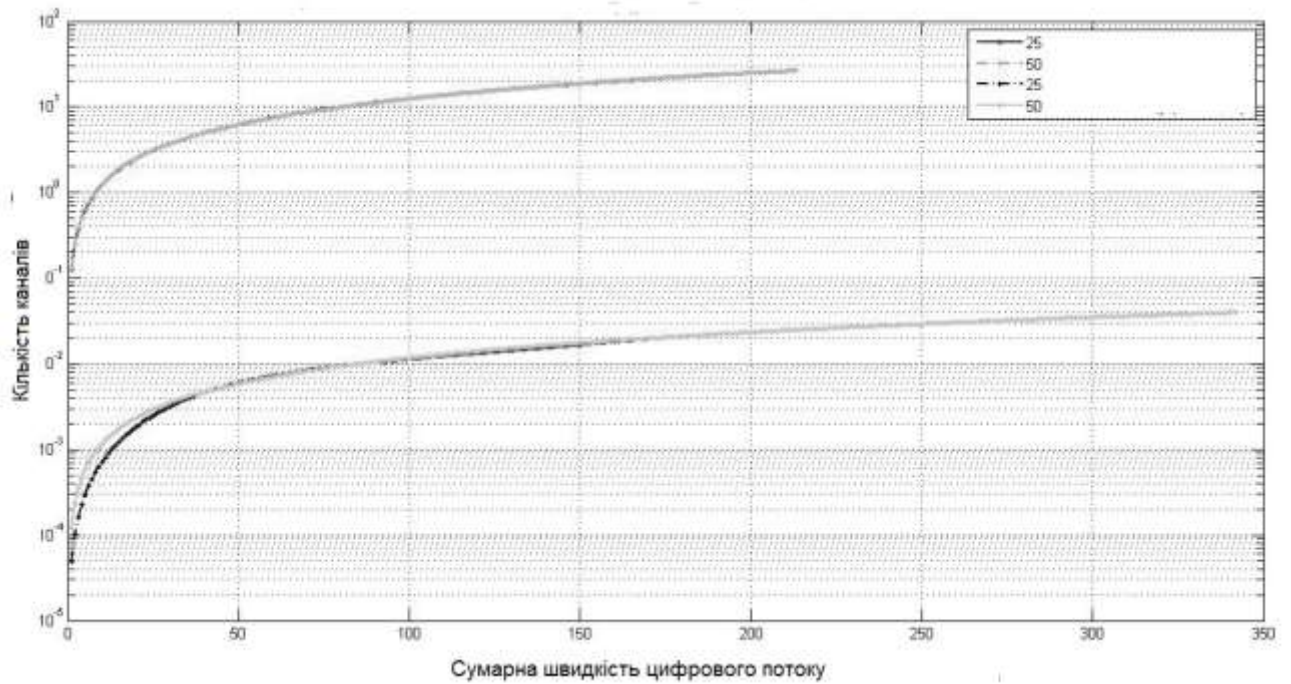


Рис.11. Залежність каналної місткості від швидкості передачі цифрового потоку об'єктної сцени відеостандарту 4: 4: 4

Запишемо формули сплайнів, що вийшли, по графіку для формату 4: 4: 4:

$$F(t) = \sum_{i=1}^{169} a_i i^{i-1},$$

для 25 кадрів в секунду для 4 досліджуваних об'єктів;

$$F(t) = \sum_{i=1}^{214} a_i i^{i-1}$$

для 50 кадрів в секунду для 4 досліджуваних об'єктів;

$$F(t) = \sum_{i=1}^{172} a_i i^{i-1}$$

для 25 кадрів в секунду для 2 досліджуваних об'єктів;

$$F(t) = \sum_{i=1}^{343} a_i i^{i-1}$$

для 50 кадрів в секунду для 2 досліджуваних об'єктів.

При видаленні незначимих значень Wavelet- коефіцієнтів можливо досягти стискування в 5 разів, при цьому якість зображення, представлена відношенням сигнал / шум, досягає значення 35 дБ – оцінка показника прийнятної візуальної якості для комфортного перегляду.

При подальшому видаленні Wavelet- коефіцієнтів в двовимірному просторі починають спостерігатися відхилення координат вершин об'єкту від

початкових і з'являються спотворення типу "брижі". Отже, нижче 35 дБ не доцільно стискати сіткові тривимірні об'єкти.

Для підтримки переконливого рівня реалізму 3D сіткових об'єктів багато застосувань вимагають високій деталізації складних моделей. Такі моделі вимагають широкої смуги частот і великих витрат для передачі. Для вирішення цих проблем були запропоновані багато алгоритмів стискування 3d сіток. В якості одного з відомих методів кодування тривимірної сітки (3D МК) були введені в стандарти MPEG – 4 [5] і MPEG – 7. 3D МК забезпечує представлення і стискування вершин 3d сіткових об'єктів, а також забезпечує такі додаткові функції, як висока міра стискування, рендерінг, і стійкість до помилок. Стискування вершин сіткових об'єктів в сцені розроблені в ISO/IEC 14496-2, ISO/IEC 14496-11 і ISO/IEC 14496-16.

Висновок

Підсумовуючи результати дослідження, можна дійти наступних висновків. Для Wavelet- перетворень в літературі перевагу віддають Daubechies і Symlets, але, як видно з досліджень, для кодування сіткових об'єктів можна використати усі існуючі перетворення.

Також більше увагу необхідно приділяти кількості рівнів квантування. Розрядність вектору Z - координати є найбільш не критичною координатою до кута повороту, оскільки визначає глибину об'єкту. Як сказано в цій роботі аналізу спектральних коефіцієнтів розкладання досліджуваних об'єктів, сплески по осях X і Y більше виражені, ніж по осі Z , тому крок дискретизації по осі Z можна вибирати більше, що дозволяє заощадити час обробки координат об'єкту в середовищі Matlab.

Відомо, що роздільна здатність людської зорової системи найменш чутлива, до глибини, таким чином, вісь Z можна піддавати більшому кроку квантування і дискретизації. Ієрархічні спектральні перетворення по вибраних порогах дозволяють підвищити точність відновлення координат сіткових об'єктів, забезпечуючи різну детальність тривимірних сіткових об'єктів в телевізійних відтворюючих пристроях.

ЛІТЕРАТУРА

1. В. І. Солodka, "Спектральные свойства сеточных моделей видеоизображений", *Матеріали 68 науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів ОНАЗ ім. О.С. Попова, Одеса, 2013, с. 18 – 19.*

2. С. А. Лавров, Разработка устойчивых методов реконструкции изображений с применением Wavelet-преобразования, дис. канд. наук., ФГБОУ ВПО “Южно-Уральский государственный университет”, Челябинск, 2011.

3. В. Е. Джакония, А. А. Гоголь, и Я. В. Друзин, “Телевидения. 4ое издание. Учебник для вузов. 4-е изд., стереотип.”, М.: Горячая линия –Телеком, 2007.

4. А. В. Ананич, Стандарт DVB-T2: новый этап в развитии наземного цифрового вещания [Электронный ресурс]. Доступно: <http://giprosvjaz.by/infresource/?q=node/254486>. Дата обращения: Март 12, 2019.

5. Craig Gotsman, Stefan Gumhold, and Leif Kobbelt, *Simplification and Compression of 3D Meshes. Tutorials on Multiresolution in Geometric Modelling*, A. Iske, E. Quak, M.S. Floater (Eds.), Springer-Verlag, Hidelberg, 2002.

2.5. Сжатие изображений на основе автоматической и нечеткой классификации фрагментов

Введение. Сжатие данных является важнейшей перманентной составляющей практически всех современных мультимедийных архитектур и сетевых информационных технологий, и в настоящее время может рассматриваться как “технология расширения возможностей” [1, 2].

Однако несмотря на существенные достижения в этой области становится очевидным тот факт, что методы, разработанные в рамках классической теории информации и теории сигналов приближаются к свойственному им пределу эффективности кодирования изображений и поэтому остается все меньше возможностей увеличения степени сжатия информации, рост которой, как известно, подчиняется экспоненциальному закону [3]. Поэтому весьма перспективным и многообещающим направлением видится подход на основе объединения и комплексирования методов обработки сигналов изображений и методов распознавания образов на основе автоматической и нечеткой классификации данных [3, 4].

Основная часть.

Задача автоматической классификации фрагментов.

Рассмотрим метод сжатия изображений на основе автоматической классификации [5]. Он базируется на известном алгоритме k -средних, который решает следующую задачу.

Пусть дана совокупность p -мерных векторов X . Требуется разбить эту совокупность на заданное число классов k так, чтобы сумма внутриклассовых дисперсий была минимальна. Иначе говоря, нужно найти разбиение $S = (S_1, \dots, S_k)$ совокупности X и набор векторов e_1, \dots, e_k (называемых центрами классов), таких чтобы достигался минимум функционала

$$F(S) = \sum_{l=1}^k \sum_{x \in S_l} \|x - e_l\|^2, \quad (1)$$

где для любого вектора v из X

$\|v\|^2 = v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_p^2$ – евклидова длина вектора $v = v_1, v_2, \dots, v_p$.

Алгоритм, решающий эту задачу, состоит в следующем.

Параметром классификации является k – число классов. Произвольно из множества X выбирается k элементов e_1, \dots, e_k – центров класса (в первом приближении). Все элементы изображения разбиваются на k классов

S_1, S_2, \dots, S_k по правилу: для каждого элемента x находится ближайший центр класса, то есть вектор e_j , минимизирующий величину $\|x - e_j\|$, после чего в один класс объединяются все элементы, имеющие один и тот же ближайший центр класса. Далее находятся новые центры класса (во втором приближении) путем усреднения элементов в каждом классе:

$$e_s = \frac{1}{N_s} \sum_{x \in S_s} x, \quad (2)$$

где N_s – число элементов в классе S , и $S = 1, 2, \dots, k$.

После этого процедура повторяется, исходя из новых центров класса. Описанные итерации заканчиваются, когда центры классов перестают изменяться.

Отметим, что в данной работе этот алгоритм был дополнен предварительным “просеиванием” элементов [7]. Эта процедура состоит в том, что, задавшись параметром $\Delta > 0$ и произвольным элементом x_1 из совокупности векторов X , объединяют в один класс X_1 все элементы множества, находящиеся от x_1 на расстоянии меньшем, чем Δ , то есть удовлетворяющие неравенству

$$\|x - x_1\| < \Delta. \quad (3)$$

Далее произвольно выбирается элемент x_2 , не принадлежащий классу X_1 , и аналогичным образом строится класс X_2 . Процесс заканчивается, когда каждый элемент из X попадет в какой-либо класс.

После этого в качестве центров первого приближения для алгоритма автоматической классификации используются векторы, являющиеся средними в полученных методом “просеивания” классах, то есть

$$e_j = \frac{1}{M_j} \sum_{x \in X_j} x, \quad (4)$$

где M_j – число элементов в классе X_j , $j = 1, 2, \dots, m$, и $m = m(\Delta)$ – число получившихся классов.

Предварительное определение центров класса (в нулевом приближении) с помощью метода просеивания увеличивает вероятность того, что алгоритм k -средних даст абсолютный, а не локальный минимум функционала $F(S)$. Кроме

того предварительное применение метода просеивания значительно улучшает сходимость алгоритма k -средних и, следовательно, сокращает вычислительное время. Это объясняется тем, что уже на первом шаге центры нулевого приближения аппроксимируют члены своего класса с точностью, не меньшей значения параметра Δ . Еще одним преимуществом предложенной предобработки является то, что метод просеивания позволяет автоматически определить необходимое число классов, дающее приемлемое значение внутриклассовых дисперсий. Действительно, чем выше степень разнородности векторов из X , тем больше необходимо классов для того, чтобы внутриклассовые разбросы не превосходили заданной величины. Количество классов регулируется величиной параметра Δ , который можно уменьшить или увеличить в зависимости от величины, например, средней внутриклассовой дисперсии.

Кроме того в работе используется хорошо известный прием предварительной декорреляции компонент векторов, что позволяет существенно сократить количество получающихся классов и время кодирования. Для декорреляции используется дискретное косинусное преобразование Фурье или преобразования Хаара.

Для сжатия изображений алгоритм k -средних используется следующим образом. Изображение разбивается на одинаковые, например, квадратные элементы с размером стороны m пикселей. Яркости пикселей каждого элемента составляют m^2 -мерный вектор. К совокупности всех элементов применяется алгоритм k -средних, что приводит к разбиению изображения на k , как правило, несвязных областей S_1, \dots, S_k , каждая из которых состоит из почти одинаковых элементов. Для кодирования изображение нужно составить карту регионов, определяющую размещение областей, и для каждой области S_j указать ее представителя, в качестве которого используется ее центр e_j .

В более совершенном варианте алгоритма сжатия к каждому квадратному элементу изображения перед классификацией применяется декоррелирующее преобразование – дискретное косинусное преобразование Фурье или преобразование Хаара. Причем, чтобы учесть пространственную корреляцию элементов фрагмента, используются одноименные двумерные преобразования. Далее в качестве пространства признаков используется то или иное число коэффициентов, полученных при одном из этих преобразований.

На рис.1 представлены восстановленное изображение zelda.bmp при $m = 4$ и $k = 80$, а также распределение количества элементов по классам.

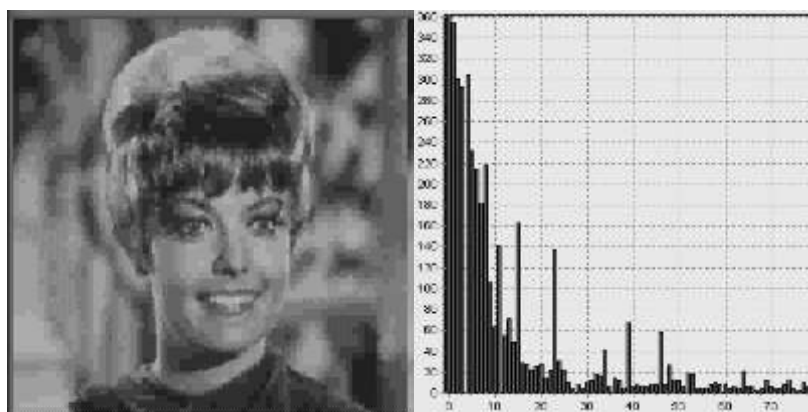


Рис.1. Автоматическая классификация. Восстановленное изображение zelda.bmp при $m = 4$ и $k = 80$, а также соответствующее распределение количества элементов по классам

Зависимость коэффициента сжатия от СКО при этих же параметрах приведена на рис. 2. Здесь же для сравнения приведена аналогичная зависимость для сжатия стандартным методом JPEG.

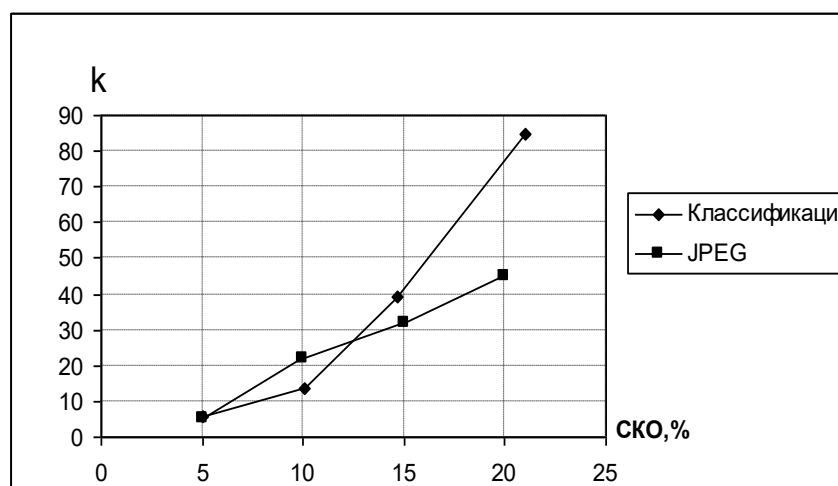


Рис. 2. Зависимости коэффициента сжатия k от СКО при кодировании изображения zelda.bmp методом автоматической классификации при $m = 4$ и $k = 80$ и стандартным методом JPEG

Не слишком высокая степень сжатия с помощью метода автоматической классификации в области малых СКО объясняется тем, что для получения высокого качества восстановленного изображения требуется большое число классов. Попытка уменьшить это число с помощью применения больших фрагментов, например, 10×10 приводит к тому, что в каждом классе оказывается слишком мало элементов – практически 1 – 2, так что

классификация становится бессмысленной. То же можно сказать и в случае применения самых малых однопиксельных фрагментов 1x1. В этом случае классификация сводится просто к квантованию яркостей пикселей.

Зависимости коэффициента сжатия от СКО для фрагментов различных размеров приведены на рис. 3.

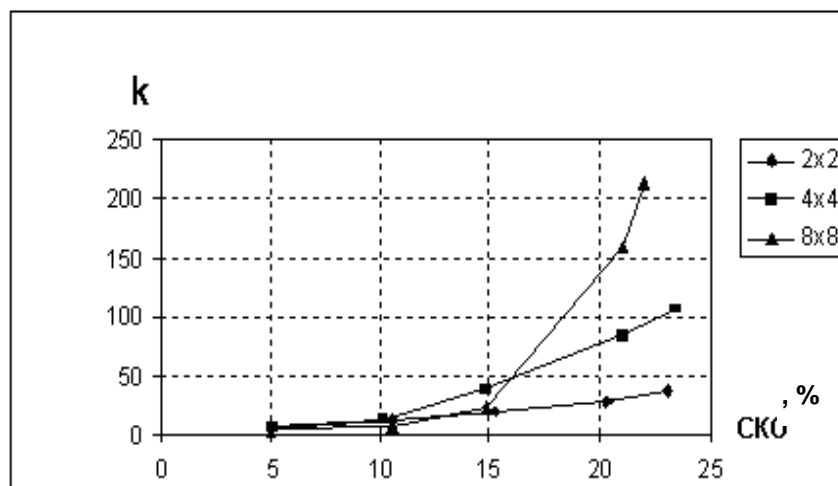


Рис. 3. Зависимости коэффициента сжатия k методом автоматической классификации от СКО % для фрагментов 2x2, 4x4 и 8x8. Изображение zelda.bmp

Из приведенных графиков вытекает, что для кодирования с высоким качеством (область малых СКО) нужно пользоваться фрагментами 2x2 и 4x4, причем второе является предпочтительней, так как дает лучшее сжатие и в областях с высоким СКО. Это можно объяснить, если рассмотреть распределение количества информации на две части, первая из которых представляет собой результат кодирования карты регионов, определяющей расположение элементов каждого класса на изображении, а вторая – результат кодирования совокупности представителей всех классов.

Первая часть, обозначим ее через K , несущественно зависит от количества классов и, следовательно, от СКО, так как в основном определяется полным числом фрагментов в изображении. Вторая, обозначим ее символом Π , примерно пропорциональна числу классов и убывает с ростом СКО. На рис. 4 представлена доля второй части Π в % во всем объеме кодированной информации в зависимости от СКО при использовании фрагментов различных размеров.

Независимо от размера фрагмента, как видно из рис. 4, доля объема информации, содержащей представителей всех классов убывает с увеличением СКО, что и обуславливает увеличение степени сжатия.

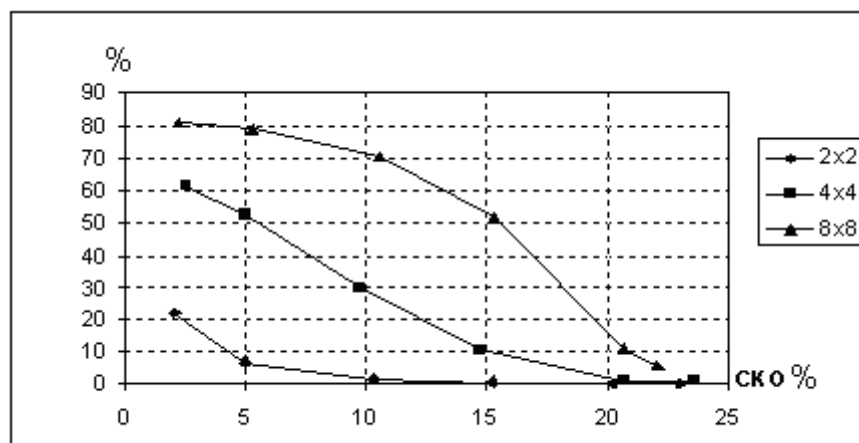


Рис. 4. Доля в % объема информации, содержащей представителей всех классов, в объеме информации кодированного изображения zelda.bmp при выборе фрагментов 2x2, 4x4 и 8x8 в зависимости от SKO

При этом максимальное теоретическое сжатие метода автоматической классификации определяется только объемом информации, содержащим карту регионов. Поэтому для фрагментов 8x8 получается самое высокое сжатие среди фрагментов других рассматриваемых размеров, но уже в области сравнительно больших SKO (>15%), не обеспечивающих хорошее качество восстановленного изображения это преимущество теряется. Использование фрагментов такого размера в областях малых SKO не эффективно, так как количество классов медленно убывает с ростом SKO, что и обуславливает низкий коэффициент сжатия в этой области. Для фрагментов 2x2 доля информации, содержащей представителей классов, невелика даже в области малых SKO и практически исчезает при переходе в область больших SKO. Ясно, что при этом количество классов в областях средних и высоких SKO убывает медленно, а общее сжатие соответственно почти не растет. Вообще, для каждого размера фрагмента оптимальной областью использования является такой интервал SKO, в котором количество классов максимально быстро убывает с ростом SKO. Для фрагментов 2x2 – это область от 2% до 5%. Для фрагментов 8x8 – от 15% до 25%. А для фрагментов 4x4 – от 5% до 15%. Поэтому фрагменты 2x2 оптимальны для кодирования изображений с очень высоким качеством. Фрагменты 4x4 можно использовать в широком диапазоне требований к качеству кодирования – практически от очень хорошего (SKO 2%) до удовлетворительного (SKO=15%), и наконец, фрагменты 8x8 оптимальны в случаях, когда требуется очень высокое сжатие при низком качестве восстановленного изображения.

Характеристики сжатия изображений на основе автоматической классификации существенно улучшаются, если перед классификацией применяется декоррелирующее преобразование – дискретное косинусное преобразование Фурье или преобразование Хаара. Это позволяет описывать достаточно большие фрагменты сравнительно небольшим количеством коэффициентов преобразования. Но и здесь уменьшение СКО, достигаемое увеличением числа коэффициентов Фурье или Хаара связано с резким возрастанием числа классов. Это иллюстрирует рис. 5 и 6, на которых представлены зависимости количества классов для изображения zelda.bmp, получающихся при использовании алгоритма просеивания с различными значениями параметра Δ , от количества учитываемых коэффициентов Фурье (рис 5) и Хаара (рис 6).

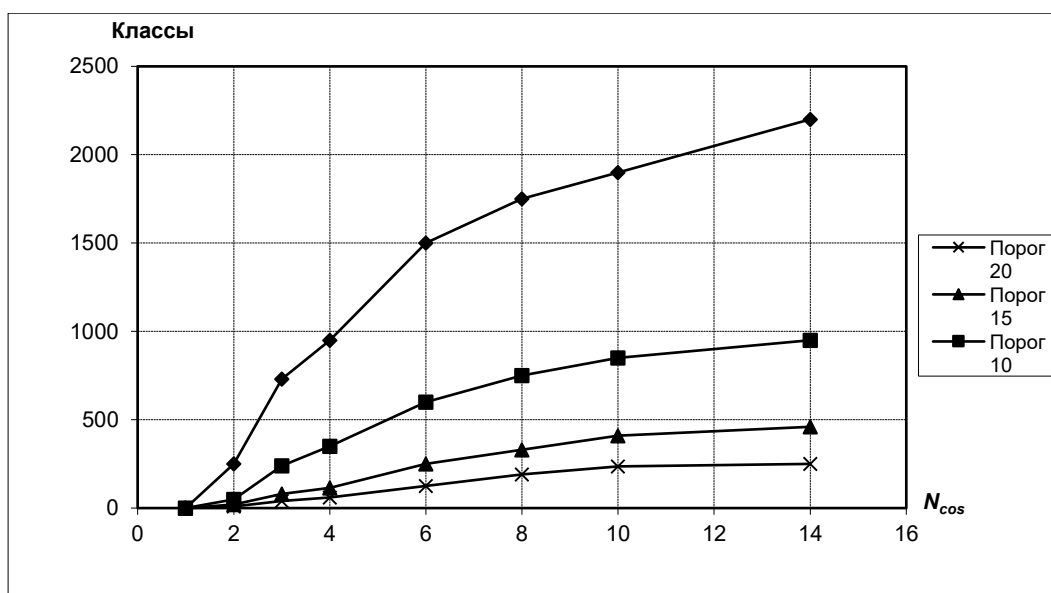


Рис.5. Зависимость количества классов от количества числа используемых коэффициентов косинусного преобразования Фурье при различных значениях порогового параметра $\Delta = 5;10;15;20$. Изображение zelda.bmp, фрагмент 4x4

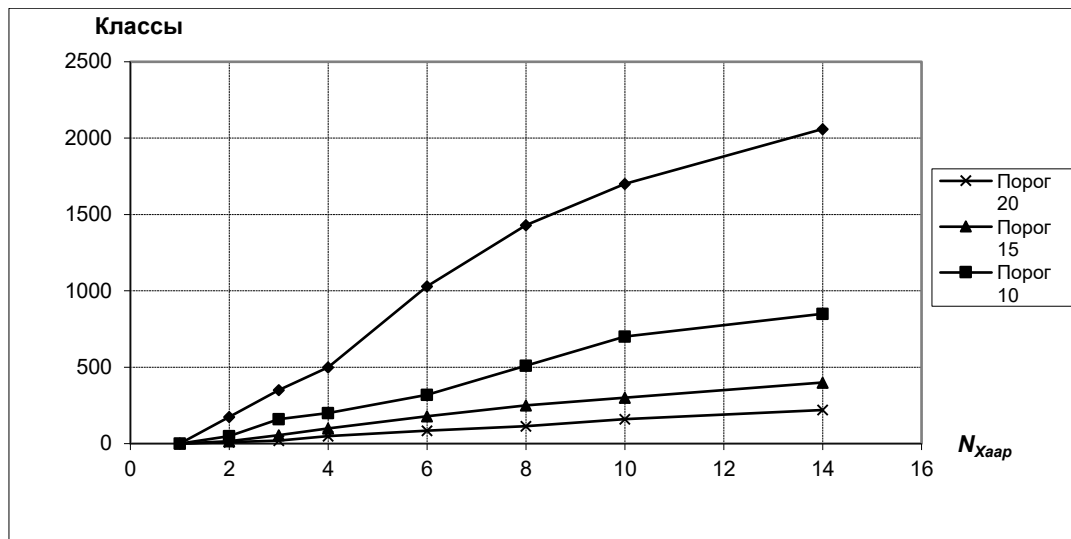


Рис.6. Зависимость количества классов от количества числа используемых коэффициентов преобразования Хаара при различных значениях порогового параметра $\Delta = 5;10;15;20$. Изображение zelda.bmp, фрагмент 4x4

На этих рисунках показано, как с ростом номера гармоники уменьшается ее информативность. Это видно из того, что увеличение числа гармоник добавляет все меньшее и меньшее число классов и примерно после 10-ти практически его не меняет. Нужно отметить, что при использовании преобразования Хаара количество классов с увеличением числа коэффициентов растет медленнее, чем при использовании дискретного преобразования Фурье. Полученные зависимости показывают фундаментальную связь между оценкой эффективности того или иного ортогонального преобразования на основе дисперсионного критерия и эффективностью автоматической классификации при использовании этих преобразований и еще раз подчеркивают необходимость использования единых подходов к сжатию и распознаванию изображений. Степень влияния количества коэффициентов Фурье, участвующих в классификации, на параметры сжатие–качество иллюстрирует рис. 7, на котором представлены соответствующие зависимости степени сжатия от СКО. Полученные результаты позволяют утверждать, что для широкого круга изображений класса zelda.bmp оптимальным по параметрам сжатие–качество является выбор 4 – 6 гармоник для классификации.

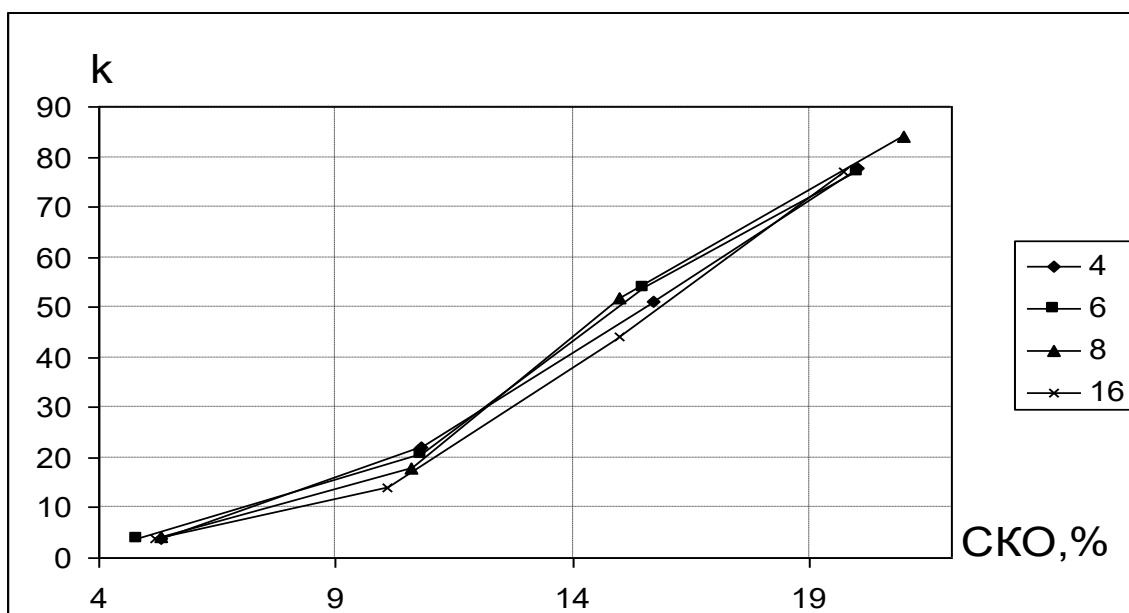


Рис. 7. Зависимости коэффициента сжатия методом автоматической классификации от СКО при использовании различного числа коэффициентов дискретного косинусного преобразования Фурье. Изображение zelda.bmp

Основным преимуществом алгоритма сжатия на основе автоматической классификации, дополненного методом просеивания и предварительной декорреляции, является его очень высокая скорость. Также его можно рекомендовать как один из лучших для кодирования фоновых текстур. Интересно отметить, что на одном специальном классе отображений метод сжатия на основе автоматической классификации является очень эффективным. Речь идет об контрастных изображениях с малым количеством полутонов, таких, например, как газетные фотографии или изображение печатей из электронного каталога автоматизированной системы “Клише”.

Для изображений такого класса мало эффективны методы сжатия, основанные на ортогональных преобразованиях. Так стандартные JPEG и JPEG-2000, использующие дискретное косинусное преобразование и вейвлет-преобразование соответственно, дают сжатие в 2 – 4 раза при том же качестве восстановленного изображения. Это объясняется тем, что из-за значительных перепадов яркости на такого рода изображениях высокочастотные (косинус- или вейвлет-) гармоники оказываются относительно большими. То есть

декоррелирующие свойства этих преобразований на рассматриваемом классе изображений являются недостаточными.

Хорошие результаты в этих случаях дает известный формат DjVu, специализированный для работы с изображениями, включающими текст. На изображении печати при том же качестве DjVu-компрессия составляет 10 – 12 раз.

Ниже предлагается и исследуется метод сжатия изображений на основе нечеткой классификации. Нечеткой классификацией множества X p -мерных векторов по k классам $S = (S_1, \dots, S_k)$ понимается сопоставление каждому элементу x из X набора k неотрицательных чисел $(\alpha_1(x), \alpha_2(x), \dots, \alpha_k(x))$, в сумме составляющих 1. Эти числа называются коэффициентами принадлежности классу и могут трактоваться как вероятности того, что данный элемент принадлежит тому или иному классу [6]. Например, если все числа $(\alpha_1(x), \dots, \alpha_k(x))$ равны нулю кроме одного, который по необходимости равен единице, то это – обычное разбиение на классы. В общем случае классы носят виртуальный характер в том смысле, что нельзя перечислить вектора, которые составляют данный класс.

Задача нечеткой классификации состоит в нахождении минимума суммы взвешенных дисперсий нечетких множеств S , то есть функционала

$$Q(S) = \sum_{l=1}^k \sum_{x \in X} \alpha_l^2(x) \|x - e_l\|^2, \quad (5)$$

где (e_1, \dots, e_k) – набор центров нечетких множеств, а символ $\|v\|$ означает, как и выше, длину вектора v из X .

Алгоритм С-средних, позволяющий решить эту задачу, состоит в следующем.

Параметром классификации является число классов k . Из множества X произвольно выбирается k векторов e_1, \dots, e_k , которые рассматриваются как центры классов в первом приближении. После чего строится нечеткое разбиение множества X на классы, порождаемое этими центрами. То есть для каждого вектора x вычисляются коэффициенты принадлежности:

$$\alpha_j(x) = \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{\|x - e_j\|^2}{\|x - e_i\|^2} \right) \right]^{-1}, \quad j = 1, 2, \dots, k. \quad (6)$$

Заметим, что коэффициент $\alpha_j(x)$ принадлежности вектора x классу S_j тем больше, чем ближе центр e_j этого класса к этому вектору.

После этого для каждого построенного класса находятся центры второго приближения как средневзвешенные средние:

$$e_j = \sum_{x \in X} \frac{\alpha_j^2(x)}{\sum_{x \in X} \alpha_j^2(x)} x. \quad (7)$$

Далее процедура полностью повторяется, но уже с новыми центрами классов. Описанные итерации заканчиваются, когда центры классов перестают изменяться.

Для сжатия изображений этот алгоритм применяется точно так же, как и алгоритм k -средних, включая использование метода просеивания для улучшения сходимости, а также метода предварительной декорреляции. Параметр Δ , входящий в алгоритм просеивания, позволяет автоматически регулировать количество классов в зависимости от степени разнородности фрагментов рисунка.

Переход от нечеткой классификации к обычному разбиению на классы осуществляется следующим образом: каждый элемент приписывается тому классу, коэффициент принадлежности к которому для этого элемента является наибольшим.

На рис. 8 представлены восстановленное изображение `zelda.bmp` при $m = 4$ и $k = 80$, а также распределение количества элементов по классам.

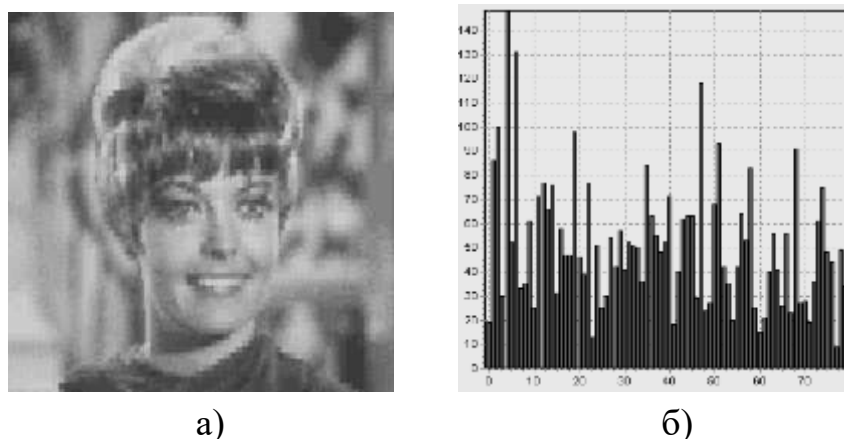


Рис. 8. Нечеткая классификация. Восстановленное изображение `zelda.bmp` при $m = 4$ и $k = 80$ а), и соответствующее распределение количества элементов по классам б).

Сравнить эффективность методов, основанных на нечеткой и четкой автоматической классификациях, можно с помощью помещенных ниже

рисунков, на которых приведены восстановленные изображения (рис. 9) и зависимостей коэффициента сжатия от СКО (рис. 10) при использовании этих методов сжатия изображений.

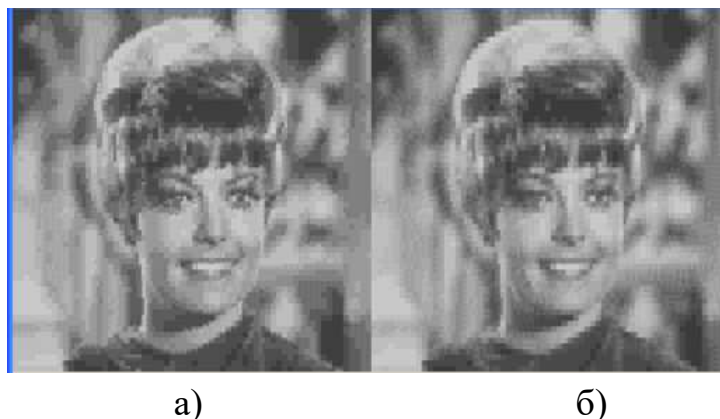


Рис. 9. Восстановленные изображения zelda.bmp при кодировании с помощью а) автоматической классификации б) нечеткой ($m = 4, k = 30$, коэффициент сжатия – 22).

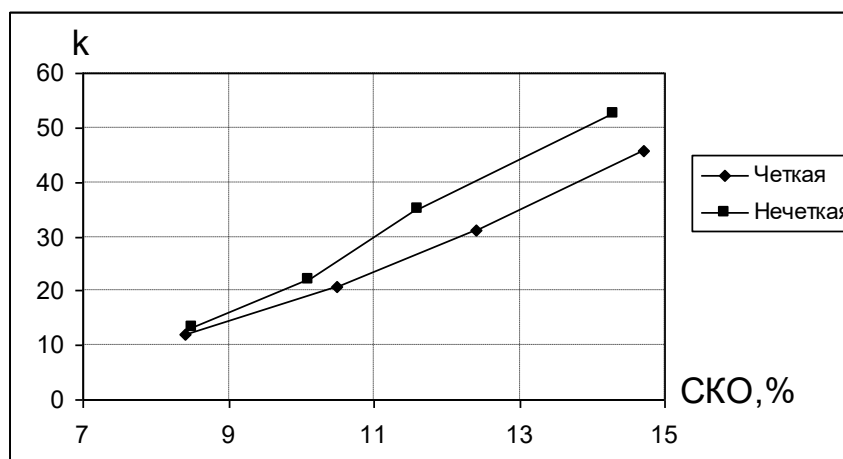


Рис. 10. Зависимости коэффициента сжатия от СКО при кодировании изображения zelda.bmp методом автоматической классификации и нечеткой классификации. Фрагмент 4x4, используются 4 коэффициента дискретного преобразования Фурье для классификации

Зависимости коэффициента сжатия от СКО в случае изображения zelda.bmp, как и в случае других тестовых изображений, в области малых СКО практически совпадают для методов кодирования, основанных на нечеткой и автоматической классификациях. В области высоких СКО заметное преимущество имеет метод нечеткой классификации. Это объясняется тем, что этой области соответствует малое число классов, на которые происходит классификация. Сравнивая рис. 1 и рис. 8, легко заметить, что распределение элементов по классам при нечеткой классификации является заметно более

равномерным. Это означает, что минимум функционала $Q(S)$ (5), в отличие от функционала $F(S)$ (1), дает значение СКО, близкое к оптимальному для данного количества классов. Проще говоря, в случае четкой автоматической классификации при одном и том же количестве классов реально используется меньшее их число, так как заметное количество классов содержит малое число элементов (см. рис. 1) и представляет очень небольшую часть изображения.

Следует отметить один недостаток метода сжатия, основанного на нечеткой классификации. Этот алгоритм является более медленным, чем алгоритм k средних, причем это различие быстро возрастает с увеличением числа классов. Как легко заметить, сравнивая алгоритмы k -средних и C -средних, количество элементарных алгебраических операций, совершаемых при одной итерации, для алгоритма C -средних больше соответствующего количества операций при алгоритме k -средних приблизительно во столько раз, на сколько классов происходит классификация. Это иллюстрирует рис. 11 на котором приведены зависимости времени работы алгоритмов при различных параметрах.

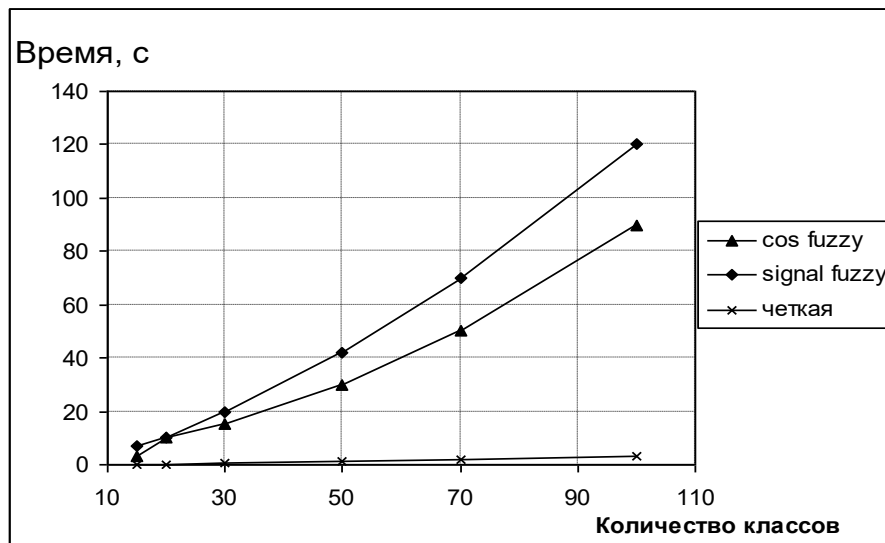


Рис. 11. Зависимость времени в сек., необходимого для классификации фрагментов изображения zelda.bmp, от количества классов

Недостаток в скорости метода сжатия изображений, основанном на нечеткой классификации, может ограничить его применение, но при малом числе классов, то есть при больших значениях СКО, коэффициент сжатия очень высок.

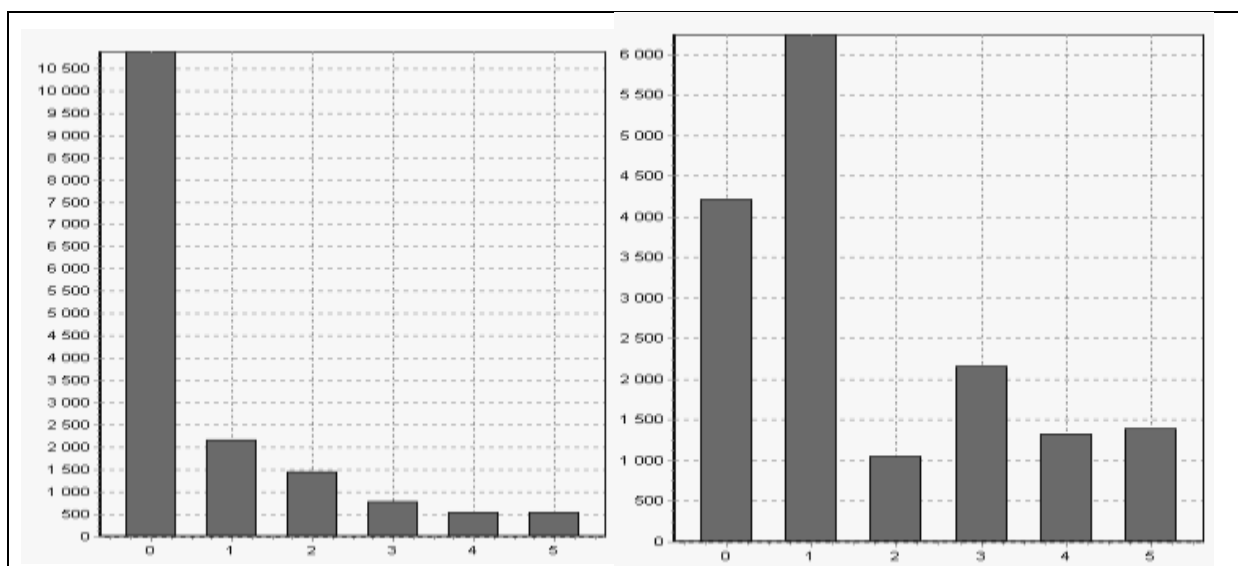
Здесь нужно остановиться на одном важном преимуществе метода сжатия полутоновых изображений, основанном на нечеткой классификации, которое

состоит в том, что в области больших значениях СКО субъективное восприятие восстановленного изображения является неожиданно хорошим. Сравнивая оригинал и восстановленное изображение (рис. 9 б) можно сказать, что восстановленное изображение заметно отличается от оригинала, но (если отвлечься от повышенной зернистости) выглядит как оригинал, сфотографированный при более мягком освещении или подвергшийся действию сглаживающего фильтра. Это является следствием равномерного распределения числа фрагментов по классам, что является характерной особенностью нечеткой классификации.

Однако в случае контрастных изображений, например, изображения печати эти же особенности нечеткой классификации играют отрицательную роль. Сравнение восстановленных изображений печати при кодировании методами нечеткой классификации и автоматической классификации при одном и том же количестве классов, равном 6, и соответственно СКО около 14 %, дали следующие результаты (фрагменты 2x2). Для нечеткой классификации сжатие – 13,7, время классификации – 3 сек. Для автоматической классификации – соответственно 19,8 и 0,04 сек.

Несмотря на одно и то же количество классов, изображение печати, полученное методом нечеткой классификации, выглядит более размытым. То, что было преимуществом при кодировании мягких полутоновых изображений для контрастных изображений, оборачивается недостатком. Чтобы понять суть дела обратимся к рис. 12, на котором показаны распределения количества фрагментов по классам при нечеткой классификации (справа) и автоматической слева. Как и в случае мягких полутоновых изображений, распределение количества фрагментов по классам в рассматриваемом случае при нечеткой классификации является значительно более равномерным, чем при использовании алгоритма k -средних. Это приводит, например, к тому, что на восстановленном изображении слева светлый фон получился грязновато-серым.

Это вызвано тем, что если при автоматической классификации этот фон дает класс с 10500 фрагментами (левый столбик на рис 12 а)), то нечеткая классификация эти фрагменты разбила на два класса различной степени яркости (два левых столбика на рис 12 б)). Соответственно информативная часть рисунка описывается четырьмя классами при нечеткой классификации и пятью при автоматической классификации. Более того и это разбиение информативной части на классы при нечеткой классификации более равномерно и содержит промежуточные оттенки, что хорошо видно из размытости краев букв и других частей изображения.



а)

б)

Рис. 12. Распределение количества фрагментов по классам при автоматической классификации а) и нечеткой б)

Кроме того, как уже было отмечено, время, затрачиваемое на нечеткую классификацию, даже при небольшом числе классов (в данном случае шесть) существенно превосходит аналогичный параметр для алгоритма k -средних.

Неожиданным может показаться различие в степени сжатия при одном и том же числе классов. Сжатие информации при кодировании методом нечеткой классификации в рассматриваемом случае почти в полтора раза меньше, чем при автоматической классификации. Однако и это объясняется более равномерным распределением числа фрагментов по классам. В случае автоматической классификации карта регионов более, чем на две трети состоит из одинаковых фрагментов, принадлежащих фону, а в случае нечеткой классификации разнообразие больше. Поэтому в первом случае стандартные методы сжатия работают более эффективно, чем во втором. Этот эффект не является случайным и подтверждается приведенными на рис.13 зависимостями коэффициента сжатия от СКО для рассмотренных методов классификации.

Заключение. Основным преимуществом алгоритма сжатия на основе автоматической классификации является его очень высокая скорость и эффективность кодирования фоновых структур. По степени сжатия изображения типа портрет этот алгоритм уступает алгоритму, основанному на JPG-технологиях, при малых значениях СКО (< 12%).

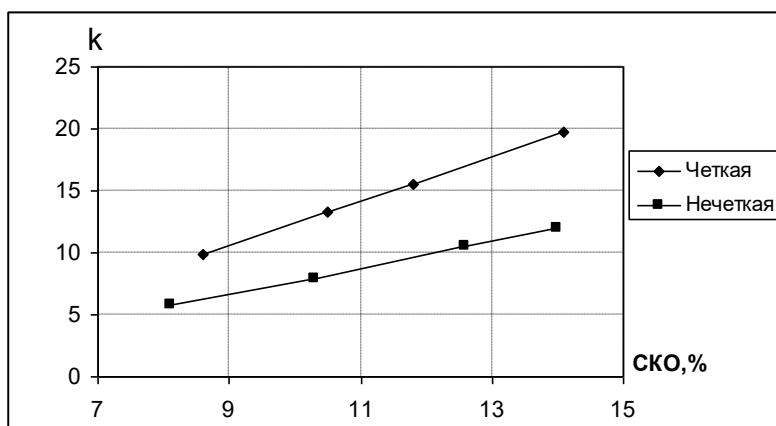


Рис. 13. Зависимости коэффициента сжатия от СКО для кодирования изображения печати методами нечеткой и четкой автоматической классификаций

При обработке контрастных изображений с малым количеством полутонов, таких как изображение печатей, коэффициент сжатия при допустимых искажениях достигает значения около 20, в то время, как методы на основе косинусных и вейвлет- преобразований дают сжатие в 4-6 раз, а на основе нечеткой классификации – 13,7 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Сэлмон, *Сжатие данных, изображений и звука*, М.: Техносфера, 2004.
2. Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, и В. Юкин, *Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео*, М.: Диалог-Мифи, 2002.
3. Р. Гонсалес, и Р. Вудс, *Цифровая обработка изображений*, М.: Техносфера, 2012.
4. Ю. И. Журавлев, и И. Б. Гуревич, “Распознавание образов и распознавание изображений”, *Распознавание, классификация, прогноз. Математические методы и их применение: Ежегодник*, М.: Наука, Вып. 2, с. 5–72, 1989.
5. В. Г. Иванов, Ю. В. Ломоносов, и М. Г. Любарский, “Сжатие изображений на основе автоматической и нечеткой классификации фрагментов”, *Проблемы управления и информатики*, № 1, с. 52–63, 2009.

ГЛАВА 3

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ, МЕДИЦИНІ ТА ОСВІТІ

3.1. Аналіз та вдосконалення бізнес-процесів організації із застосуванням референтних моделей

Вступ та постановка задачі. Концепція управління бізнес-процесами BPM (Business Process Management) є одним з найбільш важливих інструментів управління, що дозволяє організаціям задовольняти свої бізнес-цілі та досягати конкурентної переваги [1].

Однією з основних особливостей концепції BPM є моделювання бізнес-процесів. Зокрема, цикл BPM (рис. 1) включає моделювання, виконання, аналіз та вдосконалення бізнес-процесів організації.

Зважаючи на те, що більшість сучасних організацій, відповідно до концепції BPM, для представлення, накопичення та поширення знань про свою діяльність застосовують моделювання бізнес-процесів, колекції моделей бізнес-процесів даних організацій постійно зростають та можуть містити сотні або навіть тисячі моделей бізнес-процесів [2].

Використання колекції створених моделей бізнес-процесів організації в рамках циклу управління бізнес-процесами (рис. 1) відкриває такі можливості, як накопичення, видобування та поширення знань про діяльність організації, а також повторне використання моделей бізнес-процесів (кращих практик) з метою проектування нових або вдосконалення існуючих бізнес-процесів.

Однак управління великим обсягом організаційних знань, представлених у колекції моделей бізнес-процесів, є складною задачею. Можливе виникнення проблем під час вибору схожих моделей бізнес-процесів (варіантів виконання), управління версіями моделей бізнес-процесів, підтримки узгодженості під час колективної роботи над моделями бізнес-процесів [2].

Згідно з проведеними у даному напрямку дослідженнями [1, 2], існуючі рішення не надають достатніх можливостей щодо підтримки повторного використання моделей бізнес-процесів. Отже, виникає необхідність проведення подальших досліджень у даному напрямку.

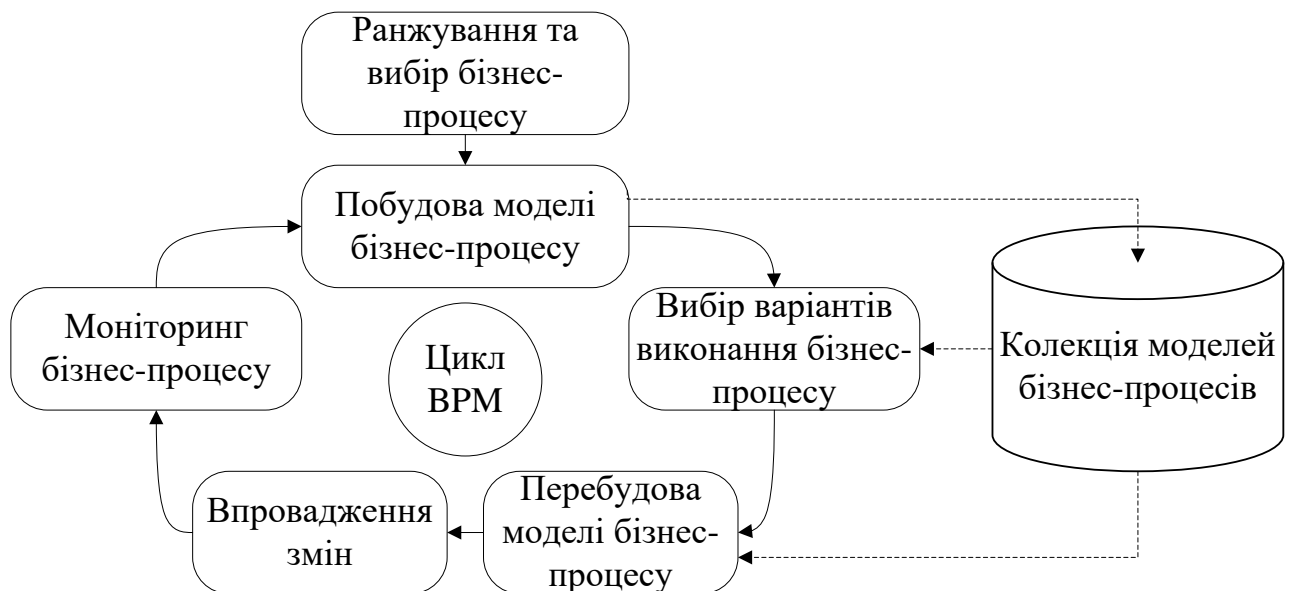


Рис. 1. Місце та роль колекції моделей бізнес-процесів у життєвому циклі BPM

Основна частина.

Щодо питання повторного використання моделей бізнес-процесів, сучасна практика організаційного управління передбачає використання так званих референтних моделей. Вони являють собою еталонну схему організації бізнесу, розробляються для конкретних галузей на основі досвіду впровадження в різних організаціях по всьому світу та включають перевірені на практиці процедури і методи організації управління.

У референтних моделях визначені типові бізнес-процеси та їх показники, горизонтальні та вертикальні зв'язки, а також бізнес-правила, що діють в різних областях. Однією з таких моделей є референтна модель операцій у ланцюжках постачання SCOR (Supply-Chain Operations Reference) [3].

На сьогоднішній день модель SCOR (рис. 2) використовується у якості міжнародного міжгалузевого стандарту планування та управління ланцюжками поставок. Модель SCOR визначає три рівні показників.

Перший рівень показників використовують для діагностики загального стану логістичної системи. Ці показники також відомі як стратегічні показники і ключові показники ефективності KPI (Key Performance Indicators). Аналіз показників цього рівня допомагає встановити реалістичні цілі, які підтримують стратегічні цілі.

Другий рівень показників моделі SCOR служить для діагностики бізнес-процесів першого рівня моделі. Діагностична взаємодія допомагає визначити першопричину або сукупність причин зниження ефективності бізнес-процесів першого рівня.

Показники третього рівня моделі SCOR служать для діагностики бізнес-процесів другого рівня моделі. Аналіз показників від першого до третього рівнів називається розкладанням. Розкладання допомагає визначити бізнес-процеси (що поєднані з показниками першого і другого рівнів), які потребують більш детального розгляду [3].

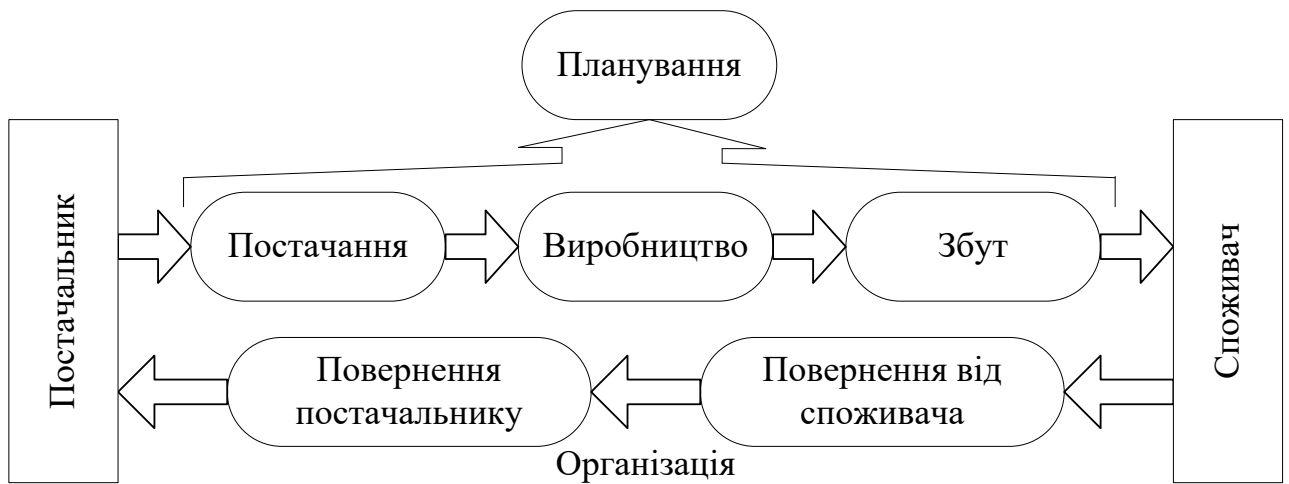


Рис. 2. Основні бізнес-процеси, визначені моделлю SCOR

Бізнес-процеси, пов'язані з постачанням продукції займають важливе місце в структурі організації. На сучасному етапі економічного розвитку як ніколи гостро постає питання розвитку логістики та управління ланцюжками поставок. Зазначена проблема визначає актуальність управління логістичними бізнес-процесами організації, одним з яких є бізнес-процес постачання (рис. 3), та їх постійного вдосконалення. Зважаючи на це, на основі моделі SCOR у роботі [3] було запропоновано підхід до формування рекомендацій щодо удосконалення бізнес-процесів, пов'язаних з постачанням продукції.

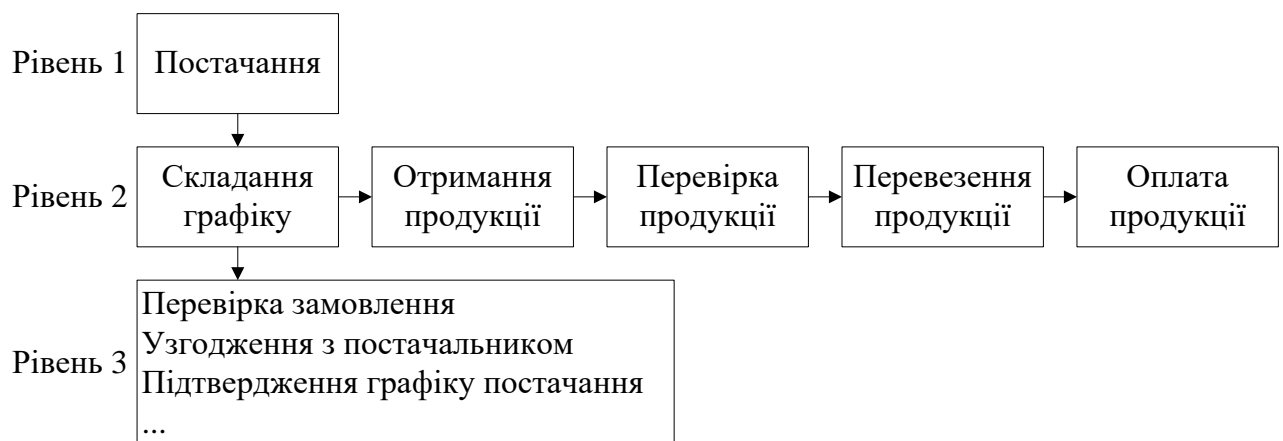


Рис. 3. Структура бізнес-процесу постачання згідно з моделлю SCOR

Для формування рекомендацій щодо вдосконалення бізнес-процесу постачання продукції окрім моделі SCOR також можуть бути використані інші референтні моделі, що засновані на світовому досвіді впровадження в різних організаціях, та містять перевірені на практиці процедури і методи організації управління [4]:

1) 17-процесна модель типових бізнес-процесів організації (рис. 4);

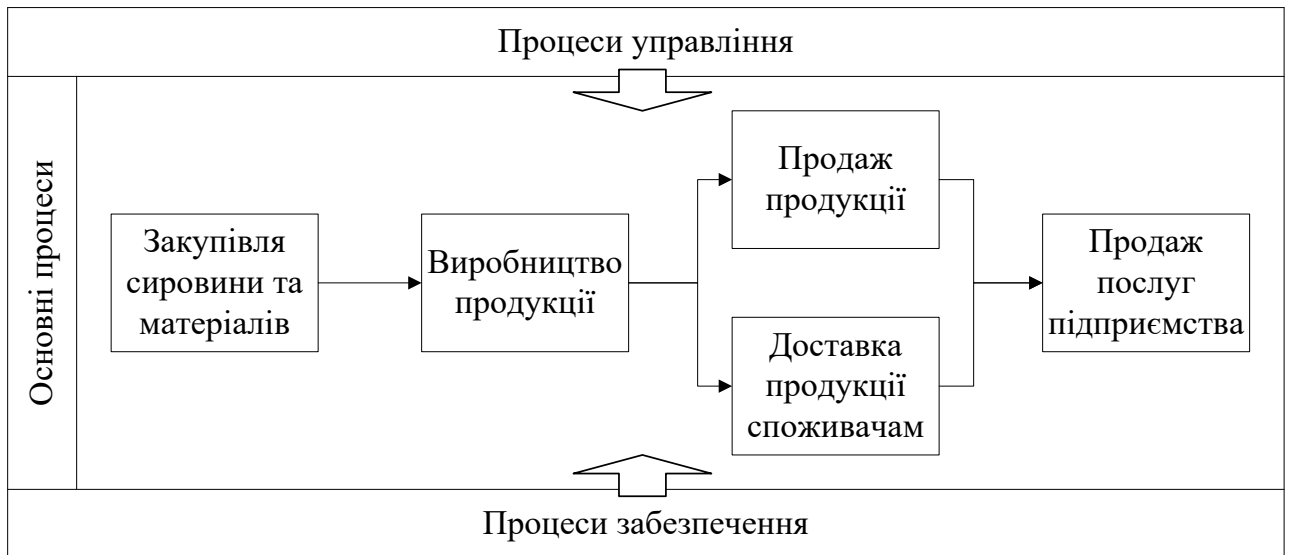


Рис. 4. Основні бізнес-процеси, визначені 17-процесною моделлю

2) 8-процесна модель організації ВКГ Profit Technology (рис. 5);

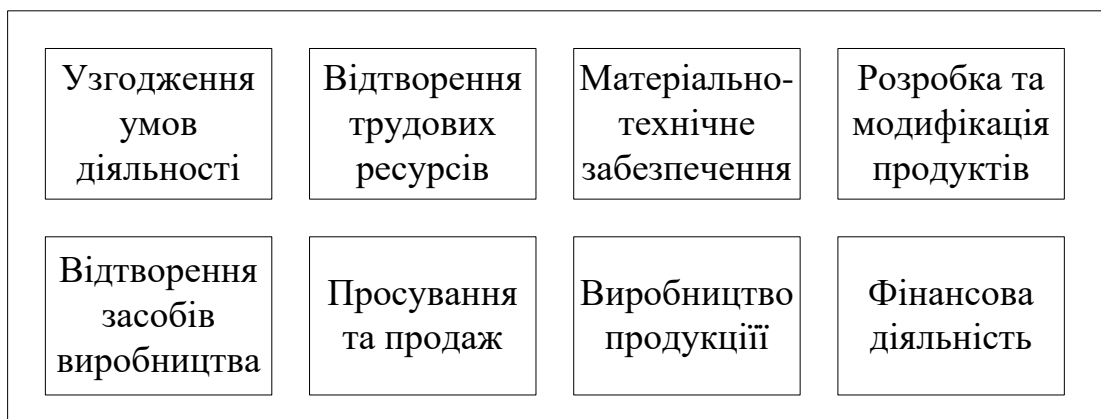


Рис. 5. Бізнес-процеси, визначені 8-процесною моделлю

3) модель IBL (International Business Language) (рис. 6);

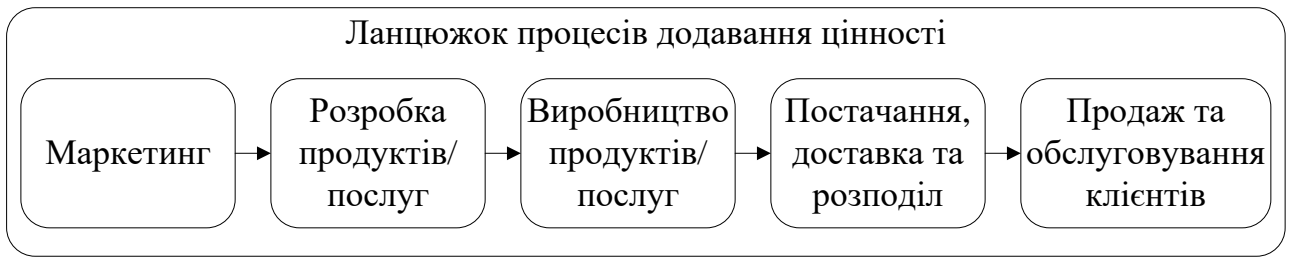


Рис. 6. Основні бізнес-процеси, визначені моделлю IBL

4) 21-процесна модель типових бізнес-процесів організації (рис. 7);

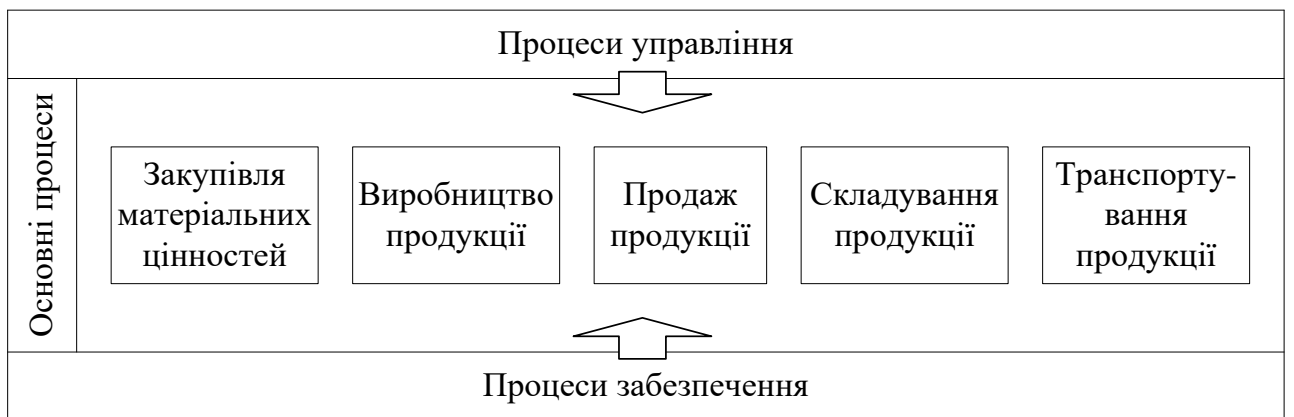


Рис. 7. Основні бізнес-процеси, визначені 21-процесною моделлю

5) модель OBM (Oracle Business Model) (рис. 8);

Планування	Ресурси	Виробництво	Ринок	Продаж
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;">Розробка продуктів</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Планування та прогнозування</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Постачання</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;">Управління виробництвом</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Управління матеріалами</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Управління маркетингом</div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;">Управління продажем</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Виконання замовлень</div>

Рис. 8. Основні бізнес-процеси, визначені моделлю OBM

6) модель VCM (Value Chain Model) (рис. 9);

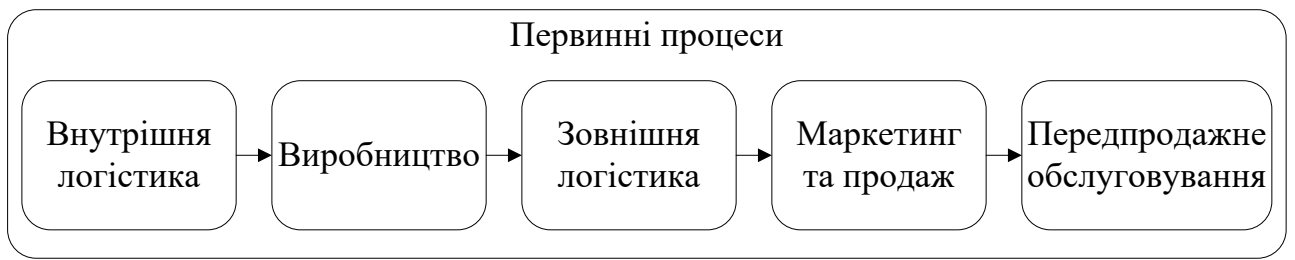


Рис. 9. Основні бізнес-процеси, визначені моделлю VCM

7) 13-процесна модель APQC (American Productivity and Quality Center) (рис. 10).

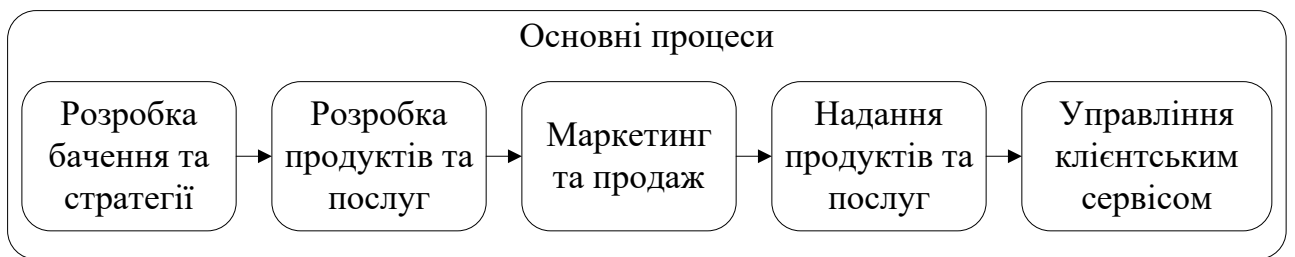


Рис. 10. Основні бізнес-процеси, визначені моделлю APQC

Відповідно до концепції BPM, та, зокрема, повторного використання моделей бізнес-процесів, користуючись найкращими практиками управління організацією, в роботі [4] було запропоновано підхід до вибору референтних моделей бізнес-процесів, схожих з діючими бізнес-процесами організації, в основі якого полягає алгоритм виділення зв'язкових компонент.

Даний алгоритм являє собою алгоритм кластеризації, що базується на теорії графів. Перевагою використання графового алгоритму кластеризації є наочність, відносна простота реалізації та можливість вносити різноманітні вдосконалення, спираючись на геометричні міркування.

В даному випадку, в якості об'єктів кластеризації BP_0, BP_1, \dots, BP_n використовуються моделі бізнес-процесів у кількості $n + 1$, кожен з яких можна описати за допомогою множини функцій (робіт, етапів бізнес-процесу):

$$BP_i = \{F_1^i, F_2^i, \dots, F_m^i\}, i \in \overline{0, n},$$

де m – кількість функцій моделі бізнес-процесу BP_i .

При цьому модель BP_0 являє собою модель діючого бізнес-процесу організації, який потребує вдосконалення на основі використання рекомендацій референтних моделей бізнес-процесів BP_1, \dots, BP_n .

Таким чином, згідно з алгоритмом виділення зв'язкових компонент, з вибірки моделей бізнес-процесів BP_0, BP_1, \dots, BP_n необхідно виділити кластер BP^* схожих моделей $BP_i \in \overline{1, n}$ бізнес-процесів на задану модель BP_0 .

Відповідно до алгоритму виділення зв'язкових компонент, задається деякий параметр R і в графі видаляються усі ребра (i, j) , а в даному випадку – ребра $(i, 0)$, для яких відстань між моделями бізнес-процесів $\rho(BP_i, BP_0) > R$.

Сполученими залишаються тільки найбільш схожі пари моделей бізнес-процесів. Після виконання процедури кластеризації єдина зв'язкова компонента вихідного графу BP буде являти собою отриманий кластер BP^* схожих моделей $BP_i, i \in \overline{1, n}$ бізнес-процесів на задану модель BP_0 , а решта моделей бізнес-процесів будуть являти собою ізольовані вершини графу (рис. 11).

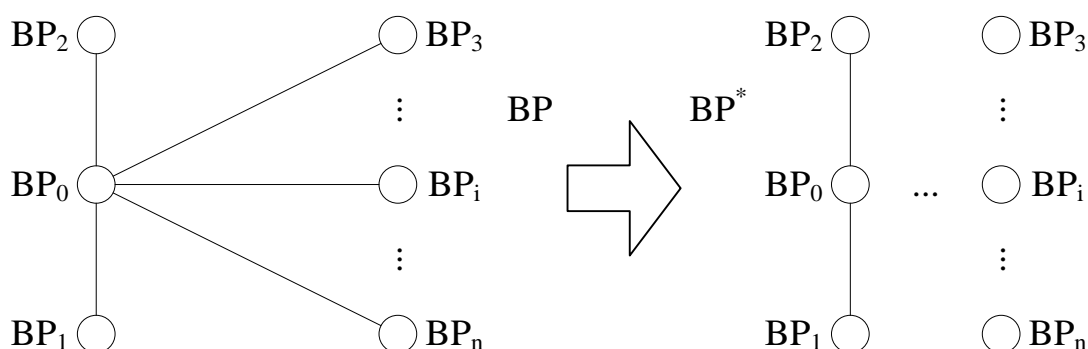


Рис. 11. Вибірка моделей бізнес-процесів у вигляді графу

Значення параметру R пропонується визначати, виходячи з необхідної схожості моделей бізнес-процесів $\rho^*(BP_i, BP_0)$. Таким чином, значення R може бути отримано за допомогою наступного виразу:

$$R = 1 - \rho^*(BP_i, BP_0).$$

Отже, референтні моделі бізнес-процесів, що увійшли до кластеру BP^* , можуть бути використані для формування рекомендацій щодо вдосконалення діючого бізнес-процесу організації, описаного за допомогою моделі BP_0 .

Відомо достатньо мір, які дозволяють визначити відстань між об'єктами, основними з яких є наступні:

1) евклідова відстань $\rho(x, x') = \sqrt{\sum_i (x_i - x_i')^2}$;

2) квадрат евклідової відстані $\rho(x, x') = \sum_i (x_i - x_i')^2$;

$$3) \text{ манхеттенська відстань } \rho(x, x') = \sum_i |x_i - x'_i|;$$

$$4) \text{ відстань Чебишева } \rho(x, x') = \max_i |x_i - x'_i|;$$

$$5) \text{ ступенева відстань } \rho(x, x') = \sqrt[p]{\sum_i (x_i - x'_i)^p}.$$

Усі наведені міри використовують так звані чисельні характеристики, якими не може бути описана модель бізнес-процесу. Звичайно, за чисельні характеристики моделі бізнес-процесу можуть бути прийняті її топологічні властивості (кількість символів, кількість зв'язків, і т. п.). Проте, в такому разі, кластеризація не дасть очікуваних результатів – до кластеру BP^* будуть відібрані моделі бізнес-процесів, які схожі на модель BP_0 за топологією, але не за змістом.

Тому, в дослідженні [4] для визначення відстані між моделями бізнес-процесів BP_0 та $BP_i, i \in \overline{1, n}$, кожна з яких представляє собою множину функцій $BP_i = \{F_1^i, F_2^i, \dots, F_m^i\}$, було запропоновано використовувати коефіцієнт Жаккара. Даний коефіцієнт в різних модифікаціях та записах активно використовується в екології, геоботаніці, молекулярній біології, біоінформатиці, геноміці, протеїноміці, інформатиці та інших галузях.

Коефіцієнт Жаккара представляє собою бінарну міру схожості множин A та B , та у загальному вигляді описується за допомогою наступного виразу:

$$K_J = \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|} = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}.$$

Міра відмінності, коеквівалентна мірі схожості Жаккара, є відстанню. Цю міру відмінності можна застосовувати для визначення відстані між моделями бізнес-процесів:

$$\rho(BP_i, BP_0) = 1 - \frac{|BP_i \cap BP_0|}{|BP_i| + |BP_0| - |BP_i \cap BP_0|} = 1 - \frac{|BP_i \cap BP_0|}{|BP_i \cup BP_0|}, i \in \overline{1, n}.$$

Існує достатньо різних мір схожості множин (коефіцієнти Серенсена, Кульчинського, Отіаї, Шимкевича-Сімпсона, Браун-Бланке), які можуть бути використані для визначення відстані між моделями бізнес-процесів. Так, наприклад, замість коефіцієнту Жаккара може бути застосований коефіцієнт Серенсена:

$$K_S = \frac{2 \cdot |A \cap B|}{|A| + |B|}.$$

Для визначення відстані між моделями бізнес-процесів на основі коефіцієнта Серенсена, необхідно використати наступний вираз:

$$\rho(BP_i, BP_0) = 1 - \frac{2 \cdot |BP_i \cap BP_0|}{|BP_i| + |BP_0|}, i \in \overline{1, n}.$$

На основі запропонованого підходу до вибору референтних моделей бізнес-процесів була виконана кластеризація моделей бізнес-процесів, мета якої – отримати найбільш схожі варіанти побудови бізнес-процесу постачання сировини та матеріалів (рис. 12), які можуть бути використані для формування рекомендацій щодо його вдосконалення.

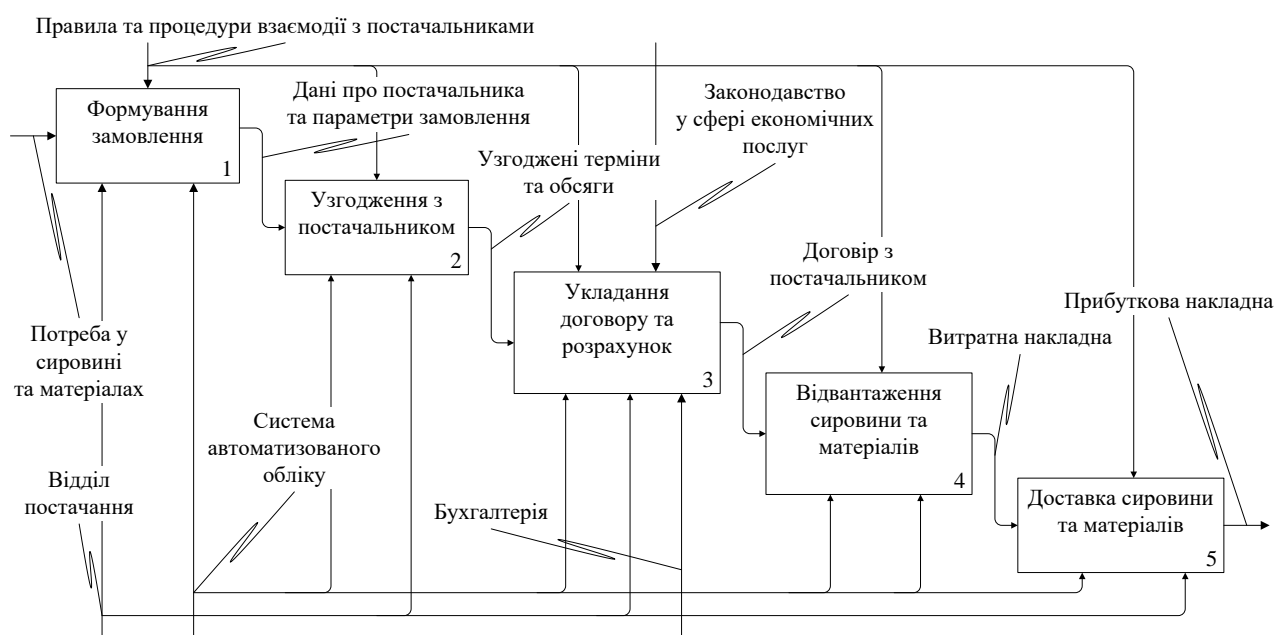


Рис. 12. Модель бізнес-процесу постачання сировини та матеріалів

Кластеризація моделей бізнес-процесів була виконана за допомогою розробленого програмного забезпечення, описаного в роботі [4]. Результати кластеризації наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати кластеризації моделей бізнес-процесів

Референтна модель	Схожість з аналізованою моделлю, %	Схожість з аналізованою моделлю	Відстань до аналізованої моделі
17-процесна	75%	0,75	0,25
8-процесна	42%	0,42	0,58
SCOR	30%	0,30	0,70

Референтна модель	Схожість з аналізованою моделлю, %	Схожість з аналізованою моделлю	Відстань до аналізованої моделі
IBL	30%	0,30	0,70
21-процесна	27%	0,27	0,73
OBM	25%	0,25	0,75
VCM	10%	0,10	0,90
13-процесна	9%	0,09	0,91

Результати кластеризації (табл. 1) свідчать про те, що найбільш схожим варіантом побудови бізнес-процесу постачання сировини та матеріалів (рис. 12), якщо бажана схожість моделей буде не нижчою за 70%, є бізнес-процес закупівлі сировини та матеріалів 17-процесної моделі типових бізнес-процесів організації.

Модель, побудована з використанням мови ArchiMate, демонструє рекомендації 17-процесної моделі типових бізнес-процесів організації щодо побудови бізнес-процесу закупівлі сировини та матеріалів (рис. 13).

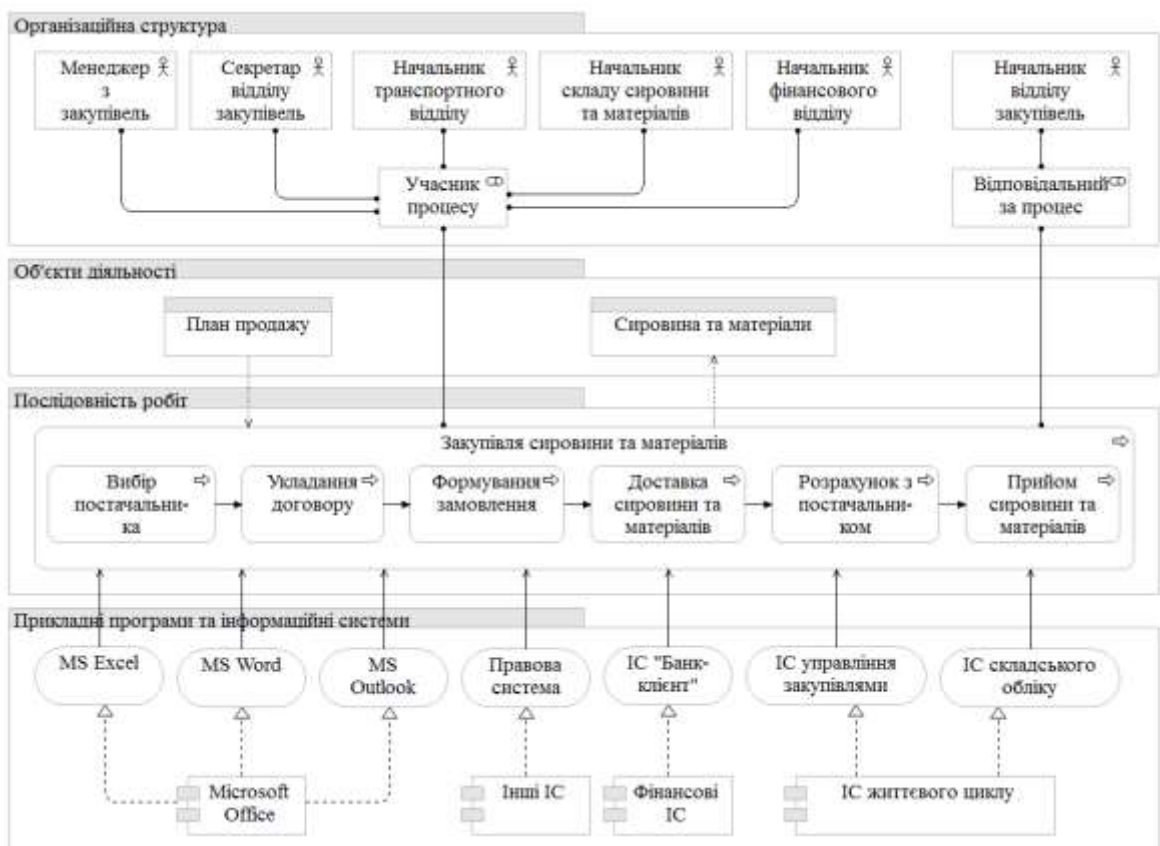


Рис. 13. Рекомендації 17-процесної моделі щодо побудови бізнес-процесу закупівлі сировини та матеріалів

Отримані рекомендації стосуються:

- 1) організаційної структури (відповідальні за бізнес-процес та його учасники);
- 2) об'єктів діяльності (вхідні та вихідні зв'язки бізнес-процесу);
- 3) послідовності та змісту робіт (функцій, етапів) бізнес-процесу;
- 4) прикладних програм та інформаційних систем (ІС), які застосовуються для підтримки виконання бізнес-процесу;
- 5) ключових показників ефективності (KPI) бізнес-процесу.

Таким чином, розглянутий підхід до вибору референтних моделей бізнес-процесів містить недоліки, основними з яких є наступні:

- 1) під час визначення схожості моделей бізнес-процесів враховуються лише окремі об'єкти потоку процесу – функції (роботи, етапи бізнес-процесу);
- 2) моделі бізнес-процесів, які представляють знання про діяльність організації, можуть бути описані за допомогою різноманітних нотацій та мов моделювання.

Зазначені недоліки пов'язані між собою та можуть бути вирішені завдяки більш детальному формальному представленню моделі бізнес-процесу, аніж у вигляді множини функцій $BP_i = \{F_1^i, F_2^i, \dots, F_m^i\}$.

У загальному випадку модель бізнес-процесу повинна давати відповіді на наступні питання:

- 1) які функції (роботи, етапи) необхідно виконати для отримання заданого кінцевого результату;
- 2) в якій послідовності виконуються ці функції;
- 3) які механізми контролю та управління існують в рамках розглянутого бізнес-процесу;
- 4) хто виконує функції бізнес-процесу;
- 5) які вхідні документи/інформацію використовує кожна процедура процесу;
- 6) які вихідні документи/інформацію генерує функція бізнес-процесу;
- 7) які ресурси необхідні для виконання кожної функції бізнес-процесу;
- 8) яка документація/умови регламентує виконання функції;
- 9) які показники характеризують виконання функцій процесу.

Найбільш поширеними нотаціями моделювання бізнес-процесів є наступні:

1) IDEF0 (Integrated Definition) – нотація, яка застосовується для побудови функціональної або концептуальної моделі системи, та відображає функції (роботи), а також потоки інформації та матеріальних об'єктів.;

2) DFD (Data Flow Diagram) – нотація, призначена для опису потоків даних, які обробляються роботами або підпроцесами;

3) BPMN (Business Process Model and Notation) – нотація, яка дозволяє здійснювати моделювання бізнес-процесів у BPM-системах за допомогою подій, дій (робіт), логічних операторів та потоків управління;

4) ARIS (Architecture of Integrated Information Systems) EPC (Event-driven Process Chain) – нотація опису ланцюжка процесу, керованого подіями, яка призначена для опису бізнес-процесу у вигляді потоку послідовно виконуваних робіт.

Отже, в спрощеному вигляді модель бізнес-процесу може бути описана за допомогою наступного виразу:

$$\text{BPMModel} = (\text{FlowObjects}, \text{ConnectingObjects}),$$

де *FlowObjects* – множина об'єктів потоку бізнес-процесу (роботи, підпроцеси, події, логічні оператори); *ConnectingObjects* – множина з'єднуючих об'єктів (потоки послідовності).

Таким чином, множина об'єктів потоку бізнес-процесу *FlowObjects* буде мати наступний вигляд:

$$\text{FlowObjects} = \text{Activities} \cup \text{SubProcesses} \cup \text{Events} \cup \text{Gateways},$$

де *Activities* – множина робіт (функцій, дій) бізнес-процесу; *SubProcesses* – множина підпроцесів; *Events* – множина подій; *Gateways* – множина логічних операторів.

В залежності від нотації моделювання, за допомогою якої було описано бізнес-процесу, деякі об'єкти потоку можуть бути відсутніми. Так, наприклад, для моделей бізнес-процесів, описаних за допомогою нотацій IDEF0 або DFD, множини подій *Events* та логічних операторів *Gateways* будуть порожніми, оскільки дані нотації не передбачають застосування таких об'єктів потоку.

Оскільки моделювання бізнес-процесів застосовуються організаціями для представлення, накопичення та поширення знань про їх діяльність, для опису моделей бізнес-процесів, з метою їх накопичення та подальшого повторного використання для проектування нових або вдосконалення існуючих бізнес-процесів, пропонується використовувати модель представлення знань RDF (Resource Description Framework).

Модель представлення знань RDF заснована на твердженнях, що називаються триплетами, у вигляді “суб’єкт-предикат-об’єкт”, зручному для машинної обробки. Набір таких тверджень представляє собою помічений орієнтований граф, завдяки чому модель RDF вважається найбільш прийнятною для представлення знань у порівнянні з іншими реляційними або онтологічними моделями. Зберігання триплетів RDF здійснюється на основі реляційних баз даних або спеціальних сховищ, які називаються triplestores. Одним з open-source рішень, яке включає усі необхідні компоненти для зберігання та роботи з RDF графами, є Java фреймворк Apache Jena.

Для опису моделі представлення знань RDF використовується набір класів та властивостей, який називається схемою RDF (RDF Schema). Отже, розглянемо схему RDF, призначену для опису моделей бізнес-процесів за допомогою RDF графів, яка була побудована на основі розглянутого вище опису моделі бізнес-процесу BPMModel (рис. 14).

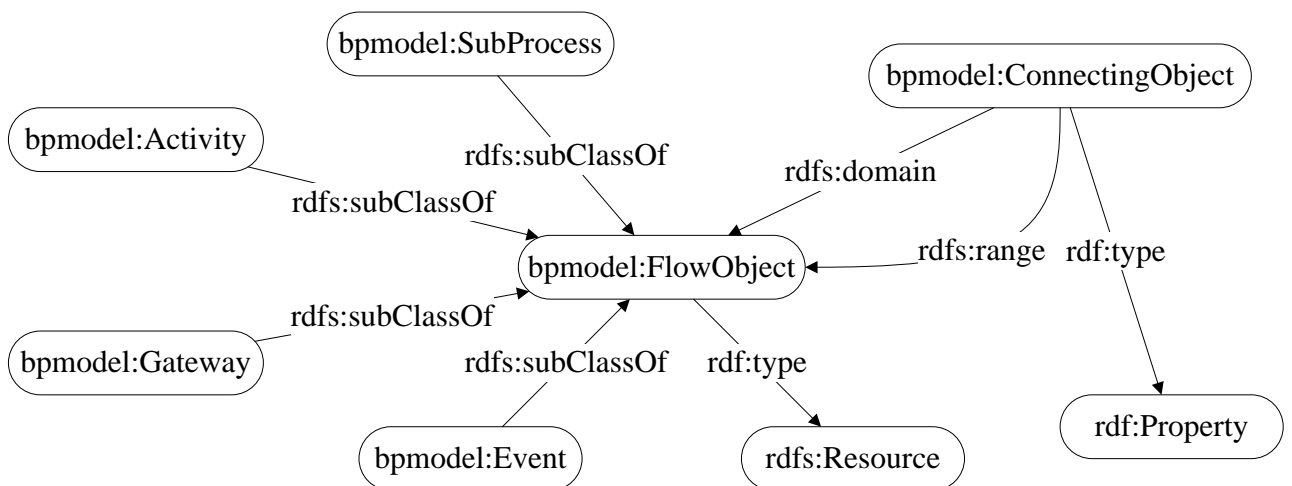


Рис. 14. Схема RDF для опису моделей бізнес-процесів

Міра схожості RDF графів, що являють собою описи моделей бізнес-процесів, може бути визначена за допомогою наступного виразу, побудованого на основі міркувань, наведених у дослідженні [5]:

$$\text{RDFSIm}(\text{BPMModel}_1, \text{BPMModel}_2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{|S_1 \cap S_2|} \cdot \sum_{s \in S_1 \cap S_2} (\text{Sim}(P_1(s), P_2(s)) + \text{Sim}(O_1(s), O_2(s))),$$

де S_1 та S_2 – множини суб’єктів, які використовуються у RDF графах BPMModel_1 та BPMModel_2 ; $P_1(s)$ та $P_2(s)$ – множини предикатів для суб’єкта s у RDF графах BPMModel_1 та BPMModel_2 ; $O_1(s)$ та $O_2(s)$ – множини об’єктів для суб’єкта s у

RDF графах $BPMoDel_1$ та $BPMoDel_2$; Sim – міра схожості множин, яка може бути визначена за допомогою розглянутих вище коефіцієнтів (Жаккара, Серенсена та ін.).

Таким чином, представляється можливим подолати недоліки підходу до вибору референтних моделей бізнес-процесів, а також продовжити дослідження щодо накопичення, зберігання та поширення знань про діяльність організації з метою їх повторного використання. Зазвичай дана діяльність виконується за допомогою репозиторія – колективної бази даних інформації про інженерні артефакти, що виробляються та використовуються організацією [2].

Розглянемо фрагмент концептуальної моделі даних репозиторія моделей бізнес-процесів (рис. 15).

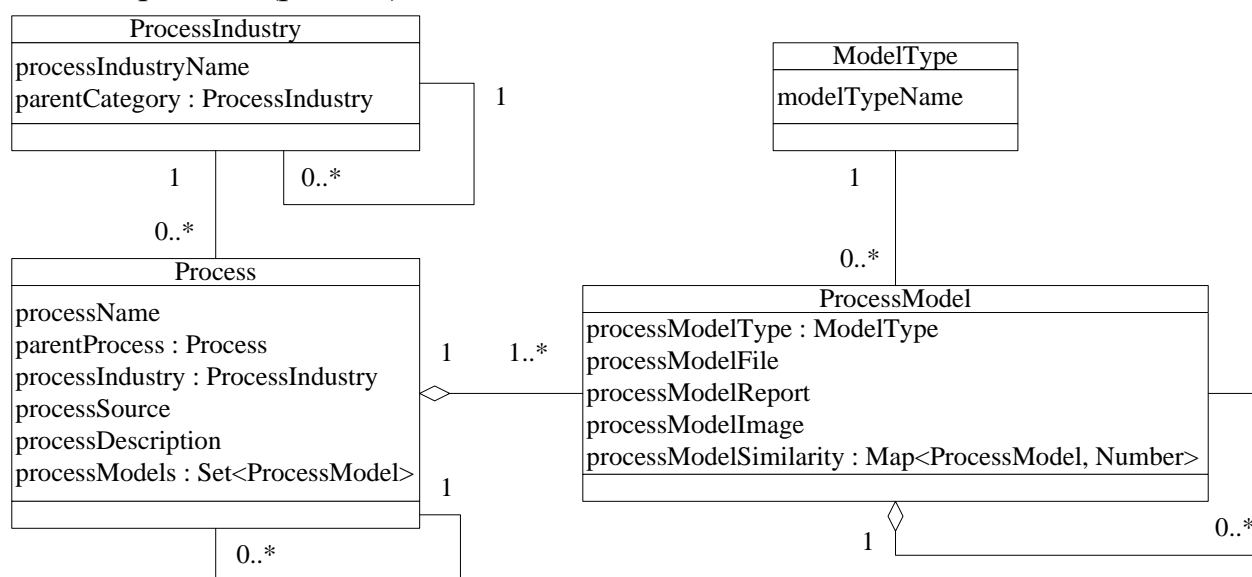


Рис. 15. Фрагмент концептуальної моделі даних репозиторія моделей бізнес-процесів

Для зберігання наборів RDF тверджень, які представляють моделі бізнес-процесів, необхідно використовувати спеціальні сховища (triplestores), в основі яких можуть полягати, наприклад, реляційні бази даних. Репозиторій повинен надавати зацікавленим сторонам можливості щодо вилучення моделей бізнес-процесів організації, їх оновлення, імітаційного моделювання та аналізу [2]. Крім того, уваги потребують питання підтримки узгодженості моделей бізнес-процесів під час колективної роботи над ними. Для цього застосовують системи управління версіями, такі, наприклад, як SVN (Subversion) або Git.

Висновки. Розглянуто основні особливості моделювання бізнес-процесів як складової частини концепції управління бізнес-процесами. Згідно з

концепцією BPM, моделювання бізнес-процесів застосовується для накопичення, зберігання та поширення знань про діяльність організації з метою їх подальшого використання під час проектування нових або вдосконалення існуючих бізнес-процесів. Таким чином, були виділені проблеми, пов'язані з управлінням колекціями моделей бізнес-процесів, що можуть містити сотні або навіть тисячі моделей бізнес-процесів. Однією з таких проблем є вибір схожих моделей бізнес-процесів (варіантів побудови діючого бізнес-процесу) з метою їх подальшого використання під час вдосконалення діючого бізнес-процесу організації.

Сучасна практика організаційного управління передбачає використання так званих референтних моделей, що являють собою еталонну схему організації бізнесу, перевірену на практиці у різних організаціях по всьому світу. Саме такі моделі рекомендовано використовувати для вдосконалення діючих бізнес-процесів організації. Відповідно до цього, в роботі було розглянуто деякі референтні моделі побудови бізнес-процесів організації (SCOR, OBM, APQC та ін.), а також підхід до вибору референтних моделей бізнес-процесів, які схожі з діючими бізнес-процесами організації, його особливості на недоліки.

Для подолання недоліків розглянутого підходу було запропоновано використання моделей представлення знань RDF для опису моделей бізнес-процесів, подальшого накопичення, зберігання та поширення організаційних знань, які вони представляють, з метою їх повторного використання під час проектування нових або вдосконалення існуючих бізнес-процесів. Визначено міру схожості RDF графів, що описують моделі бізнес-процесів.

В подальших дослідженнях у даному напрямку необхідно більш детально розглянути особливості побудови RDF графів на основі моделей бізнес-процесів та визначення близькості між ними, провести відповідні чисельні експерименти, проаналізувати основні особливості та вимоги до репозиторію моделей бізнес-процесів. Особливу увагу необхідно приділити проблемам управління версіями моделей бізнес-процесів та підтримки узгодженості під час колективної роботи над моделями бізнес-процесів.

ЛІТЕРАТУРА

1. K. Shahzad, M. Elias, and P. Johannesson, "Requirements for a business process model repository: A stakeholders' perspective", *Business Information Systems*, vol. 47, pp. 158-170, 2010.

2. Z. Yan, and P. W. P. J. Grefen, “A Framework for Business Process Model Repositories”, *Business Process Management Workshops*, vol. 66, pp. 559-570, 2010.

3. Д. Л. Орловський, та А. М. Копп, “Про один підхід до формування рекомендацій щодо удосконалення бізнес-процесів, пов’язаних з постачанням продукції”, *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*, №55, с. 32–41, 2014.

4. А. М. Копп, та Д. Л. Орловський, “Об одном подходе к решению задачи оптимизации структуры бизнес-процессов предприятия”, *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*, № 58, с. 102–108, 2015.

5. E. Sivogolovko, and B. Novikov, “Validating cluster structures in Data Mining tasks”, in *Proceedings of the 2012 Joint EDBT/ICDT Workshops*, pp. 245–250, 2012, doi: 10.1145/2320765.2320833.

3.2. Комітет нейроподібних структур мпгп з поліноміальним розширенням входів для задач великих даних

Вступ і постановка задачі

Точність розв'язання задач апроксимації нелінійних залежностей являється однією із важливих задач сьогодення. В еру Великих даних задача ще більше ускладнюється за рахунок таких факторів як наявність величезних обсягів даних для опрацювання та багатопараметричними залежностями кожного вхідного вектора. Існуючі методи машинного навчання не завжди забезпечують можливість їх використання для отримання достатньо точних результатів розв'язання цієї задачі.

Застосування загальноживаних регресійних методів не забезпечує задовільних результатів розв'язання цієї задачі. Для опрацювання даних великих обсягів, проблема поглиблюється необхідністю точної та швидкої роботи подібних методів. Існування великої кількості даних зумовлює можливість застосування засобів штучного інтелекту до розв'язання поставленої задачі. Застосування засобів обчислювального інтелекту дозволить врахувати приховані залежності у наборі даних, що сприятиме підвищенню точності прогнозування індивідуальних страхових медичних виплат.

Існуючі нейромережеві засоби показують достатню точність їх роботи, проте вони не завжди забезпечують задовільну швидкість процедур навчання. Процедури навчання за відомими алгоритмами машинного навчання нетривалі, проте ці методи поступаються у точності результатів прогнозування.

У роботі [1] описано нову неітеративну нейроподібну структуру для розв'язання різноманітних задач. Вона базується на Моделі Послідовних Геометричних Перетворень (МПГП), і може працювати в режимі як з супервізором так і без. Топологію цього інструменту обчислювального інтелекту лінійного типу наведено на рис. 1 [1, 2]. Його особливістю є впорядковані латеральні зв'язки між сусідніми нейронами прихованого шару. Процедури навчання та функціонування цього інструменту є одного типу.

Жадібний неітеративний алгоритм навчання забезпечує повторюваність розв'язку і дозволяє ефективно використовувати нейроподібну структуру Моделі Послідовних Геометричних Перетворень (МПГП) при обробці даних великих обсягів. Детальні математичні викладки процедур навчання та функціонування базової нейроподібної структури МПГП подано у [2].

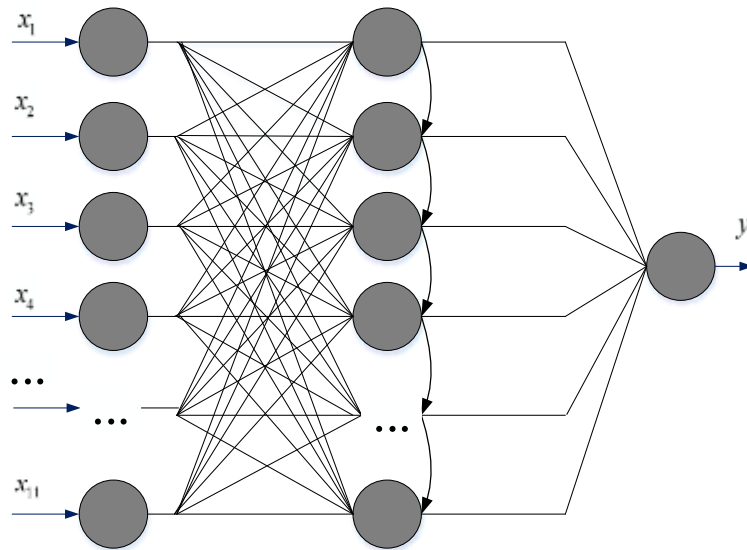


Рис. 1. Топологія лінійної нейроподібної структури Моделі Послідовних Геометричних Перетворень

Незважаючи на це, у випадку опрацювання даних великих обсягів, складність даних, їх велика кількість та приховані взаємозв'язки між ними можуть негативно впливати на генералізаційні властивості методів обчислювального інтелекту. Задача ускладнюється існуванням таких проблем як можливість перенавчання, довготривалість процедур навчання, тощо. Саме тому, існує необхідність у розробленні нових чи удосконаленні існуючих методів опрацювання даних великих обсягів підвищеної точності [4].

Основна частина

У роботі розглядається задача множинної регресії для випадку опрацювання великих наборів даних. Завдання полягає у прогнозуванні залежної змінної y на основі набору незалежних x_1, \dots, x_n шляхом побудови бінарного дерева рішень. Авторами запропоновано новий метод розв'язання цієї задачі на основі застосування комітету лінійних неітеративних нейроподібних структур Моделі Послідовних Геометричних Перетворень (МПП). Основною відмінністю розробленого методу від [3] є те, що для процедур поділу на кластери та прогнозування на кожному кроці методу додатково використовується поліноміальне розширення входів.

Таке розширення реалізовано із використанням полінома Колмогорова-Габора, оскільки, відповідно до теореми Веєрштраса, будь яка неперервна

функція на заданому інтервалі може бути як завгодно точно описана рядом поліномів [4]:

$$\begin{aligned}
 Y(x_1, \dots, x_n) = & \theta_i + \sum_{i=1}^n \theta_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n \theta_{i,j} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n \sum_{l=j}^n \theta_{i,j,l} x_i x_j x_l + \dots \\
 & + \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n \sum_{l=j}^n \dots \sum_{z=k-1}^n \theta_{i,j,l,\dots,z} x_i x_j x_l \dots x_z
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де k – степінь полінома Вінера.

Члени полінома Вінера $x_i, x_i x_j, x_i x_j x_l, \dots, x_i x_j x_l \dots x_z$ формуються послідовно для $k = 1, 2, 3, \dots$ при заданих $i = \overline{1, n}, j = \overline{i, n}, l = \overline{j, n}, \dots, z = \overline{k-1, n}$.

Застосування цього полінома забезпечує:

- можливість більш точної апроксимації складних, параметричних даних.
- врахування всіх парних взаємодій між первинними входами.

Схему сумісного використання полінома Колмогорова-Габора та нейроподібної структури МПГП подано на рис. 2 [5].

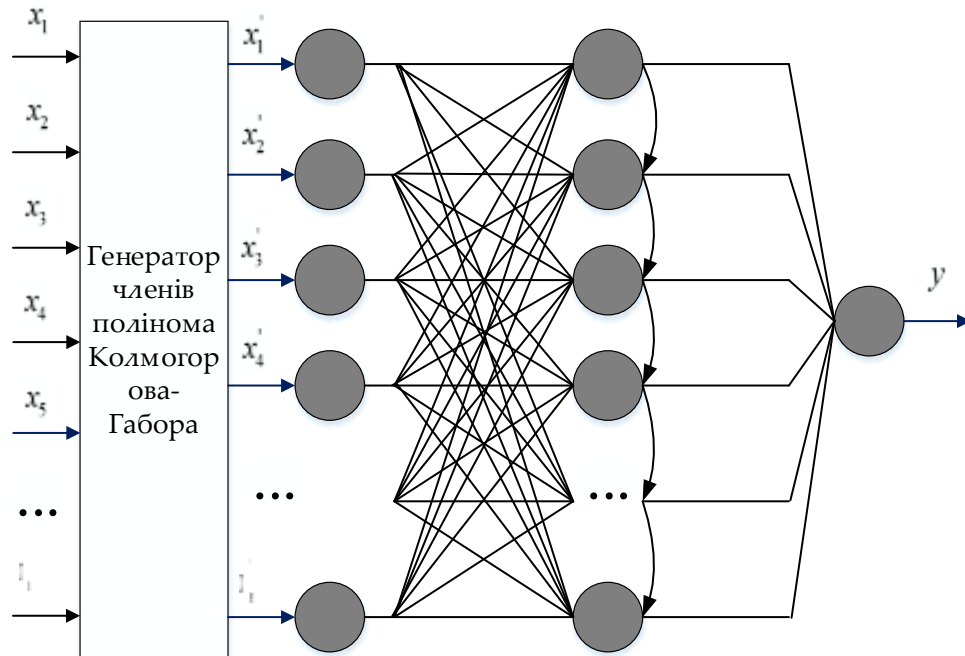


Рис. 2. Схema сумісного використання полінома Колмогорова-Габора та нейроподібної структури МПГП

Тут x_1, \dots, x_n - початкові входи кожного вектора, x_1^1, \dots, x_1^m - розширені входи векторів отримані шляхом застосування генератора членів полінома Колмогорова-Габора, y - вихідна змінна.

Змінна m у випадку використання полінома Колмогорова-Габора другого степеня буде рівною:

$$m = 1 + (n + 1) / 2, \quad (2)$$

де n – кількість первинних входів.

Таке поєднання повинно забезпечувати підвищення точності роботи методу в режимах як навчання так і застосування.

Проте, в умовах опрацювання багатопараметричних даних великих обсягів пошук коефіцієнтів цього полінома являється нетривіальною задачею. Існуючі методи, зокрема метод найменших квадратів та метод сингулярної декомпозиції не забезпечують достатньої швидкості роботи [4]. Саме тому використання полінома Колмогорова-Габора для розроблення моделей опрацювання Великих даних вимагає застосування нових, ефективніших алгоритмів пошуку його коефіцієнтів.

В основі запропонованого підходу лежить побудова бінарного дерева рішень для поділу вибірки даних на частини (кластери). Такий поділ відбувається шляхом порівняння спрогнозованих значень залежної змінної y_i^{pred} до її середнього значення $y_i^{average}$ у вибірці на попередньому кроці ($i - 1$). З ростом кроків поділу число кластерів подвоюється. Кожен з них використовує свою нейроподібну структуру МПГП з попереднім опрацюванням вхідних даних на основі поліному Колмогорова-Габора. Основним призначенням нейроподібних структур комітету є формування коефіцієнтів полінома для кожного окремого кластера даних. Такий підхід надає можливість представити результат в компактному вигляді полінома Колмогорова-Габора. На рис. 3 подано структурну схему поділу вибірки до утворення двох кластерів. Проте у випадку опрацювання великої кількості даних такий поділ можна продовжувати.

Слід зазначити, що запропонований підхід дозволяє використовувати можливості паралельних розподілених обчислень, оскільки кластери даних не перетинаються. Це забезпечить прискорення процедур навчання під час розв'язання задач опрацювання Великих Даних.

Використання поліному саме другого степеня забезпечує задовільні часові затримки процедури пошуку коефіцієнтів $a_0, a_i, a_{i,j}$ з використанням неітеративної нейроподібної структури МПГП [5]. Окрім цього, використання запропонованої моделі для поділу вибірки даних на більш однорідні області дозволяє підвищити генералізаційні властивості методу, що очевидно позитивно впливатиме на зростання точності роботи усього методу. Усі переваги цього підходу під час використання однієї цілісної вибірки даних для розв'язання задачі регресії детально досліджено у [5].

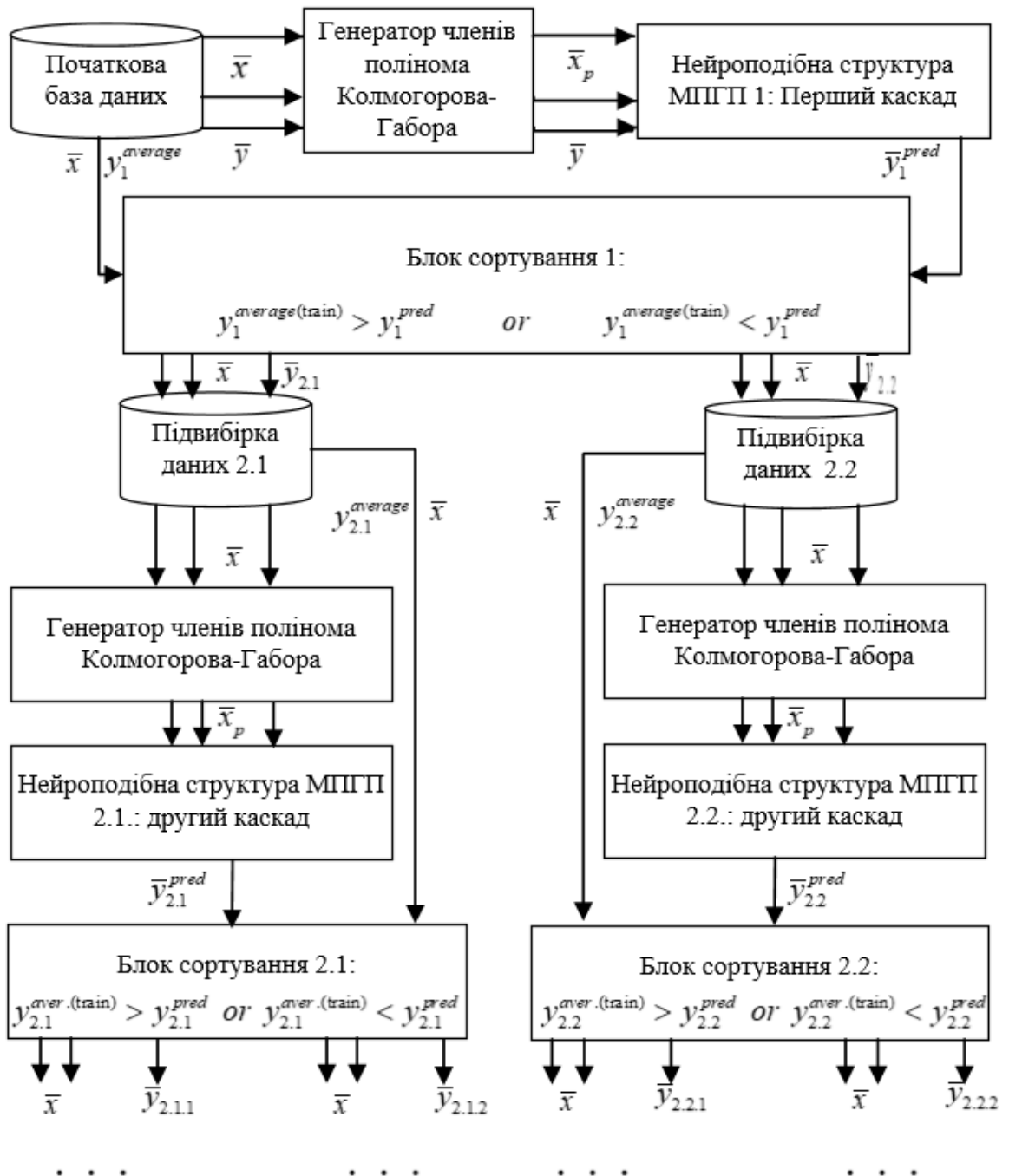


Рис. 3. Структурна схема розробленого підходу

Моделювання роботи запропонованого методу відбувалося на вибірці даних з [3, 5]. Це задача прогнозування медичних страхових виплат. Матриця навчальних даних містила 1070 векторів, а розмірність матриці тестових даних становила 268 векторів. Детальні характеристики початкової вибірки подано у табл. 1.

З метою застосування методів обчислювального інтелекту, обрану вибірку даних було модифіковано і її загальний вигляд подано у [5].

Таблиця 1

Характеристики вибірки даних

Назва атрибута	Характеристика
Вік особи	мінімальний: 18 років; максимальний: 64 років; середній: 39.2
Стать	чоловіки: 676; жінки: 662
Індекс маси тіла, kg/m ²	мінімальний: 15.96; максимальний: 53.13; середній: 30.66
Кількість дітей	мінімальна: 0; максимальна: 5; середня: 1.095
Куріння	курці: 1064; не курці: 274
Область проживання (у США)	північний захід: 325; південний схід: 364; північний схід: 324; південний захід: 325

В результаті модифікації замість 6 змінних у процесі моделювання брало участь 11 незалежних змінних для кожного вхідного вектора даних (рис. 4)

Результати застосування нейроподібної структури МПГП на усій вибірці даних в режимах навчання та тестування методом з [5] становить 27,69 % та 30,10 % відповідно.

Результати моделювання роботи запропонованого методу для одного кроку поділу вибірки даних на два кластери подано у табл. 2. Вона містить результати застосування комітету з двох нейроподібних структур МПГП для двох отриманих внаслідок виконання процедури поділу кластерів даних в режимах як навчання так і застосування.

Результати роботи моделі, згідно MAPE показують дуже близькі значення в обох режимах навчання. Окрім цього в режимі застосування отримано кращі результати в порівнянні із опрацюванням усієї вибірки даних.

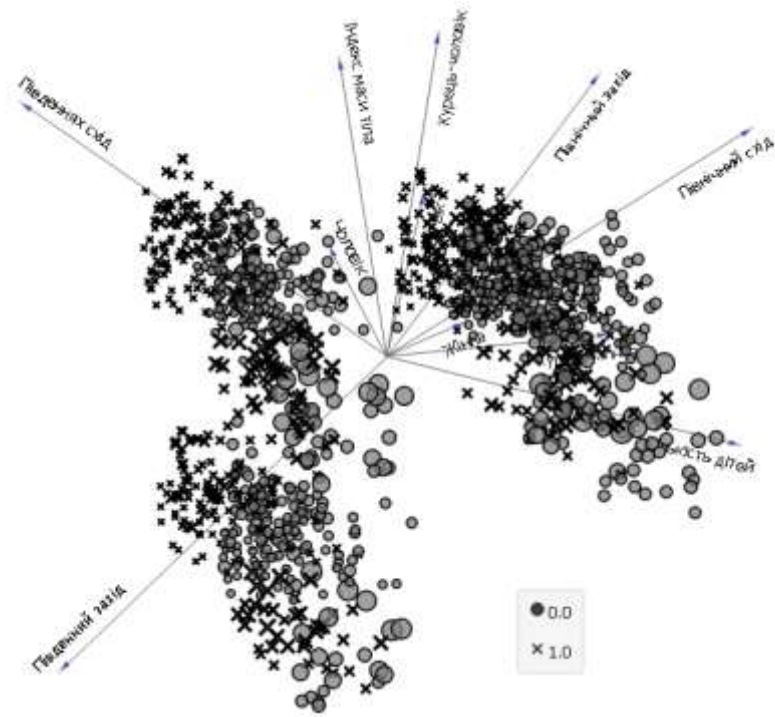


Рис. 4. Візуалізація набору даних з використанням методу машинного навчання FreeViz . Хрестиком позначено чоловіків, кружечком позначено жінок. Розмір відповідної фігури представляє розмір медичних страхових виплат

Таблиця 2

Результати роботи методу для одного кроку поділу

Вибірка	Результати		
	Кількість векторів у навчальній вибірці	Кількість векторів у тестовій вибірці	MAPE, %
Режим навчання			
Перший кластер даних	731	186	28.6924523
Другий кластер даних	339	82	31.3674181
Зважене значення	1070	268	29.433135
Режим застосування			
Перший кластер даних	731	186	33.7494821
Другий кластер даних	339	82	18.9570892
Зважене значення	1070	268	29.2234515

Для візуальної оцінки роботи запропонованої моделі, на рис. 5 подано діаграми розсіювання реального значення до спрогнозованого для обох отриманих кластерів даних на першому кроці поділу.

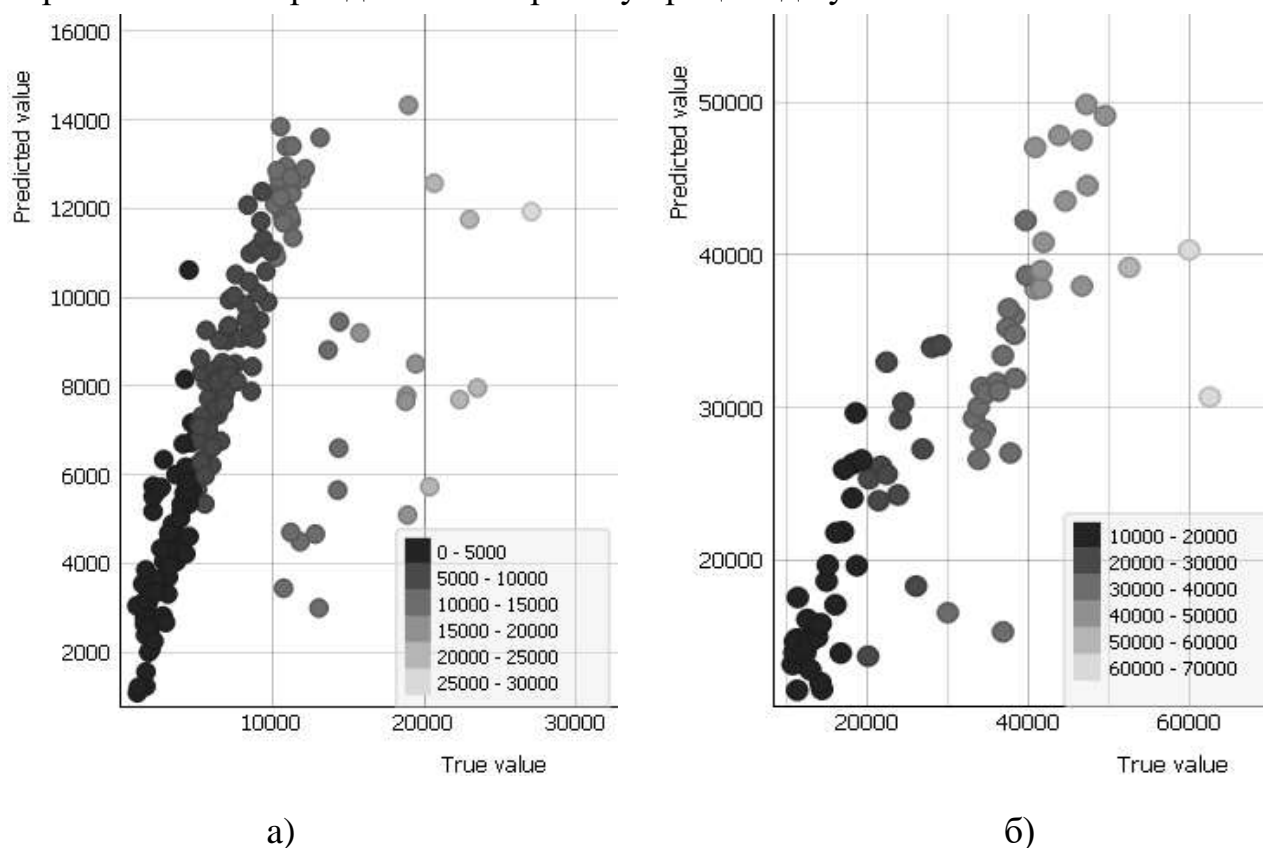


Рис. 5. Візуалізація результатів роботи розробленого методу для першого кроку поділу: а) перша підвибірка; б) друга підвибірка

Як видно з рис. 5, що підтверджується числовим значенням з Таблиці 2 результати роботи розробленого методу показують кращі показники на першому кластері даних ніж на другому. Проте зважене значення точності на основі обох кластерів забезпечує задовільні результати.

У роботі проведено експерименти щодо реалізації процедури другого кроку поділу отриманих на попередньому кроці кластерів даних: перший та другий кластери даних розбиваються на два підкластери згідно алгоритму, поданому на рис.3.

Оскільки на рис. 3 подано структурну схему лише для поділу на два кластери, на рис. 6 подано спрощену структурну схему поділу на 4 кластери. Як видно з рис. 6, кожен рівень поділу відбувається на основі попереднього. В результаті такого поділу, початкову вибірку даних буде розділено на 4 підкластери які не перетинаються. В результаті, необхідно буде застосовувати комітет з чотирьох нейроподібних структур МПП.

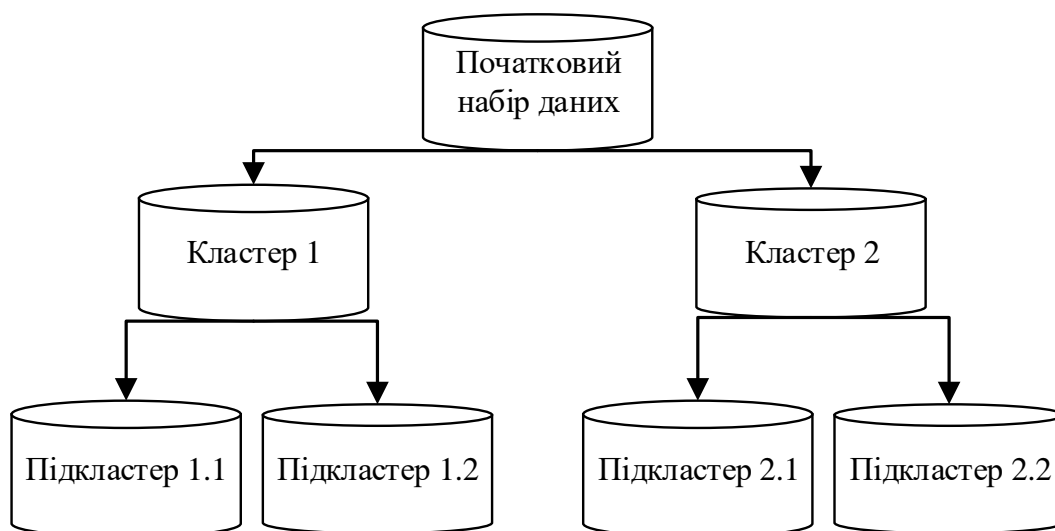


Рис. 6. Схематичне відображення процедури поділу на 4 кластери

Результати роботи методу на основі такого дерева рішень для першого і другого кластерів подано у табл. 3 і 4 відповідно

Таблиця 3

Результати роботи методу для першого кластеру другого кроку поділу

Вибірка	Результати		
	Кількість векторів у навчальній вибірці	Кількість векторів у тестовій вибірці	MAPE, %
Режим навчання			
Перший підкластер даних	505	181	34,6169435
Другий підкластер даних	226	5	15,1238273
Зважене значення	731	186	28,590343
Режим застосування			
Перший підкластер даних	505	181	35,1957284
Другий підкластер даних	226	5	32,6133645
Зважене значення	731	186	35,12631

Таблиця 4

Результати роботи методу для другого кластеру другого кроку поділу

Вибірка	Результати		
	Кількість векторів у навчальній вибірці	Кількість векторів у тестовій вибірці	MAPE, %
Режим навчання			
Перший підкластер даних	222	4	31,6829189
Другий підкластер даних	117	78	18,0245913
Зважене значення	339	82	26,968983
Режим застосування			
Перший підкластер даних	222	4	3,31634224
Другий підкластер даних	117	78	21,4553657
Зважене значення	339	82	20,5705353

Результатом виконання вищевказаної процедури, отримано зважене значення по обом кластерам другого кроку поділу (4 підкластери), яке становить 28,08% для режиму навчання та 30,67% для режиму застосування.

Результати зведених значень похибок MAPE, отриманих для усіх кроків побудови регресійного дерева: опрацювання усієї вибірки даних (крок 1), перший крок поділу на два кластери даних (крок 2) та другий крок поділу на 4 кластери даних (крок 3) наведено на рисунку 7.

Як видно з рис. 7, найкращі результати отримано для другого кроку поділу – поділу вибірки на два кластери. Це пояснюється можливим переускладненням моделі під час виконання третього кроку поділу за рахунок використання полінома Колмогорова-Габора.

Для порівняння результатів роботи розробленого методу було використано існуючі методи регресії, зокрема: метод стохастичного градієнтного спуску, багат шаровий перцептрон, базова нейроподібна структура МППП, метод з [3], та метод прогнозування на основі використання полінома Колмогорова-Габора та нейроподібної структури МППП [5].

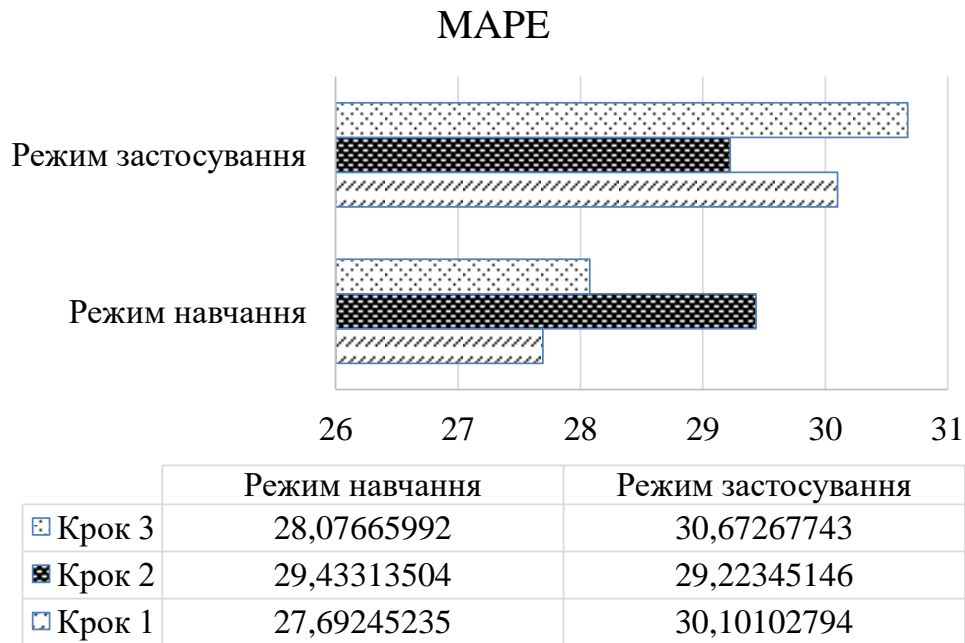


Рис. 7. Результати роботи методу при різних кроках поділу (на основі MAPE) для режимів навчання і застосування

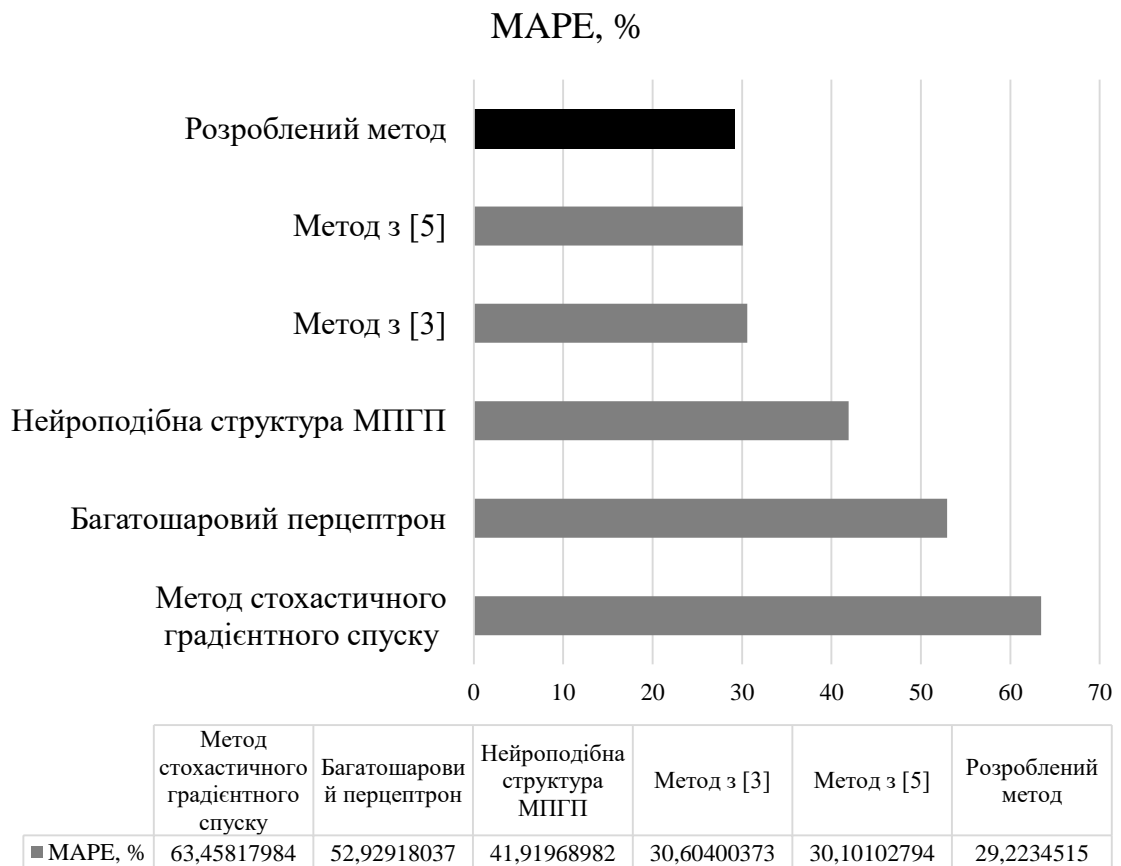


Рис. 8. Порівняння результатів роботи усіх методів на основі MAPE (режим застосування)

Слід зазначити:

- для порівняння розробленого методу використано результати, отримані на другому кроці поділу (поділ вибірки лише на два кластери);
- усі відомі методи працювали на усій вибірці даних, де співвідношення навчальної та тестової частин складало 80 і 20%.

Результати експериментального аналізу усіх досліджуваних методів подано на рис. 8.

Як видно з рис. 8 найкращі результати отримано з використанням запропонованого методу. Аналогічний підхід, проте без використання поліноміального розширення входів забезпечує задовільні результати щодо точності роботи, і поступається запропонованому лише менше ніж на 1 % (MAPE).

Під час проектування автоматизованих систем управління страховими виплатами, час процедур навчання методів обчислювального інтелекту покладених в їх основі відіграють важливе значення. Така задача ще більше ускладнюється у випадку опрацювання даних великих обсягів, де часові затримки значно зростають.

Саме тому, у роботі експериментальним шляхом визначено тривалість процедур навчання усіх досліджуваних методів. Слід зазначити, що тривалість роботи процедур навчання розробленої моделі обчислювалася як сума тривалостей процедур навчання на кожному окремому кроці поділу. Час процедури навчання на кожному окремому кроці поділу обчислювався як максимальне значення серед можливих на цьому кроці.

Такий підхід зумовлено можливістю реалізації паралельних розподілених обчислень. Результати такого дослідження подано на рис. 9.

Як видно з рис. 9, метод на основі стохастичного градієнтного спуску показує найкращі результати. Проте згідно рис. 8 точність його роботи найгірша. Багатошаровий перцептрон при незадовільній точності роботи у 52% показує ще й найгірший результат з огляду на час роботи процедури навчання.

Враховуючи це, ці методи не рекомендуються до використання під час проектування систем автоматизованого управління медичними страховими виплатами.

Враховуючи значне збільшення розмірності вхідних даних (з 11 до 77 входів для кожного вектора даних) на основі використання розробленого методу за рахунок поліноміального розширення входів згідно (2) він демонструє задовільні результати щодо тривалості процедури навчання.

Тривалість процедури навчання, секунд

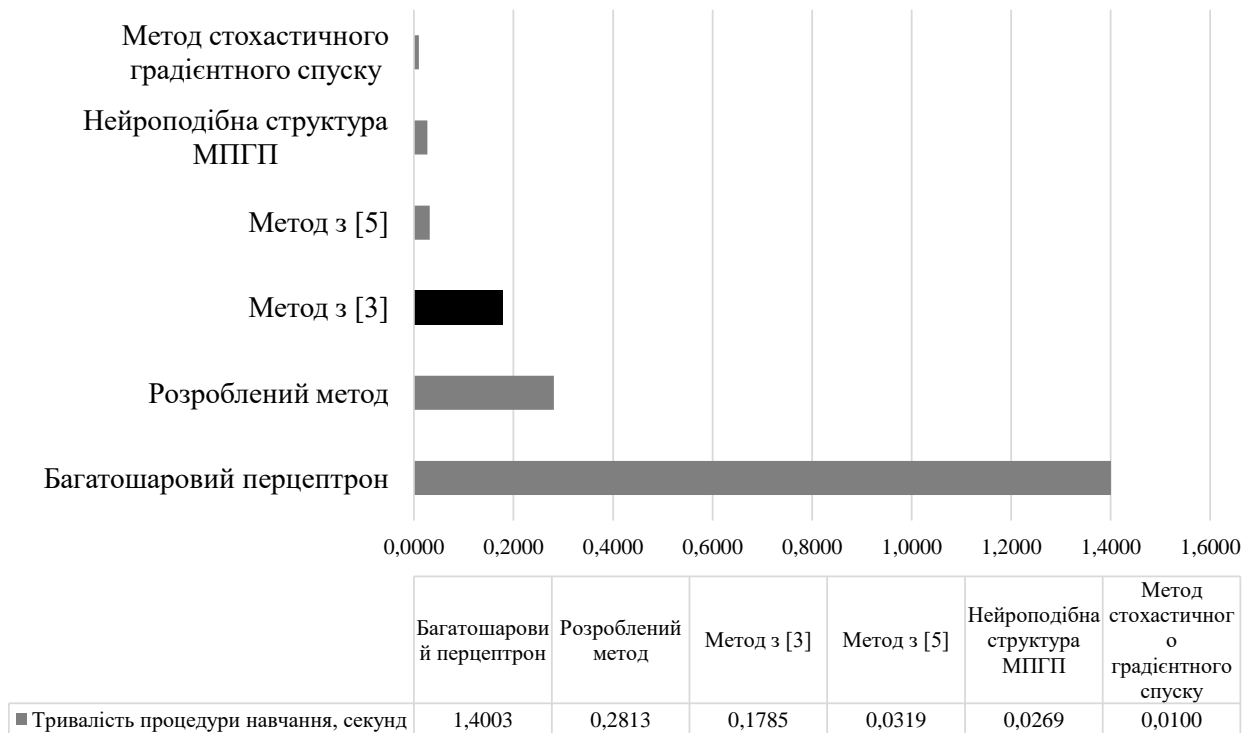


Рис. 9. Порівняння тривалості процедур навчання (у секундах) усіх досліджуваних методів

Подальші дослідження будуть розвиватися в таких напрямках:

- застосування гібридних нейронних мереж, зокрема гібридних варіантів неітеративної RBF мережі, побудованої на основі МПГП для підвищення точності роботи комітету;
- застосування та дослідження методів оптимізації для оптимального поділу вибірки даних на кластери;
- дослідження роботи комітету на модифікованих початкових вибірках, сформованих зокрема із результатів роботи ймовірнісної нейронної мережі чи заміною початкових входів на головні компоненти, отримані з використанням МПГП із сумісним застосуванням полінома Колмогорова-Габора високих порядків

Висновки

1. У роботі подано розроблений метод комітету нейроподібних структур МПГП із поліноміальним розширенням входів для розв’язання задач аналізу даних великих обсягів. Побудова комітету базується на використанні симетричного дерева рішень, в якому для формування вузлів кожного наступного ярусу використовуються дані попереднього навчання на вузлах

попереднього ярусу. Поліноміальне розширення входів для завдань регресії реалізовано із використанням полінома Колмогорова-Габора, обраного для цього через його високі апроксимаційні властивості.

2. Моделювання роботи і оцінки ефективності методу проведено на даних задачі прогнозування індивідуальних медичних страхових виплат. Встановлено, що поділ початкової вибірки даних лише на два кластери забезпечує збільшення точності прогнозування в порівнянні із опрацюванням усієї вибірки даних. Незважаючи на застосування процедури поліноміального розширення входів з метою підвищення точності розв'язання поставленої задачі, розроблений метод демонструє задовільні результати і щодо тривалості процедури навчання.

3. Порівняння результатів роботи методу проводилося із рядом існуючих: метод стохастичного градієнтного спуску, багат шаровий перцептрон, базова нейроподібна структура МПГП, метод комітету нейроподібних структур МПГП без використання поліноміального розширення входів [3] та метод прогнозування на основі використання полінома Колмогорова-Габора та нейроподібної структури МПГП [5]. Експериментальним шляхом доведено ефективність роботи розробленого методу в порівнянні з існуючими. Розроблений метод забезпечує найвищу точність прогнозування для двох рівнів дерева рішень.

4. Незважаючи на досягнутий високий рівень інтегрального показника точність-швидкодія, при застосуванні розробленого методу необхідно врахувати деякі обмеження, зокрема:

- часові затримки реалізації процедур навчання у випадку опрацювання Великих Даних і значної кількості вхідних атрибутів, або при застосуванні полінома Колмогорова-Габора вище другого степеня, можуть виявитися надто великими;

- для вибірок невеликих обсягів поліноміальне розширення входів може погіршити генералізаційні властивості моделі внаслідок її переускладнення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Roman Tkachenko, Pavlo Tkachenko, Ivan Izonin, and Yurii Tsymbal, "Learning-based image scaling using neural-like structure of geometric transformation paradigm, *Advances in Soft Computing and Machine Learning in Image Processing : Part of the Studies in Computational Intelligence book series*", *Springer International Publishing*, N. 1, Vol. 730, pp. 233–62 2018.

2. Р. О. Ткаченко, П. Р. Ткаченко, И. В. Изонин, и Д. А. Батюк, “Методы предварительной обработки изображений на основе нейропарадигмы. Модель геометрических преобразований”, *Управляющие системы и машины*, № 1 (267). с. 59–67, 2017.

3. Roman Tkachenko, Ivan Izonin, Natalia Kryvinska, Valentyna Chopyak, Nataliia Lotoshynska, and Dmytro Danylyuk, “Piecewise-linear Approach for Medical Insurance Costs Prediction using SGTM Neural-Like Structure”, *Informatics & Data-Driven Medicine. Proceedings of the 1st International Workshop IDDM 2018*, Lviv, November 28-30, pp.170–179, 2018.

4. Павло Вітинський, Роман Ткаченко, Іван Ізонін, Наталія Лотошинська, та Юлія Ментинська, “Апроксимація поліномом Вінера на основі методу стохастичного градієнтного спуску”, *Зб. міжнар. наук. конф. “Аналіз та моделювання складних систем і процесів. Теоретичні і прикладні аспекти систем прийняття рішень. Обчислювальний інтелект та індуктивне моделювання”*, 21–27 травня 2018 р., Херсон: Видавництво ФЛП Вишемирський В. С., с. 222–224 2018.

5. Roman Tkachenko, Ivan Izonin, Pavlo Vitynskyi, Nataliia Lotoshynska, and Olena Pavlyuk, “Development of the Non-Iterative Supervised Learning Predictor Based on the Ito Decomposition and SGTM Neural-Like Structure for Managing Medical Insurance Costs”, *Data*, vol. 3, no. 4, pp. 1–14, Oct. 2018.

3.3. Інформаційно-програмне забезпечення обробки та аналізу стану складних екологічних об'єктів

Для комплексного дослідження складних об'єктів, пов'язаних з розвитком суспільства, пріоритетними є питання екологічної безпеки, які спрямовані на визначення умов рівноважної взаємодії екологічної, соціальної, економічної систем за принципом екологізації життєвого простору. Упровадження в управління безпекою, як об'єкта дослідження, моделі систем-системного утворення пов'язано з необхідністю встановлення зважених об'єктивних рішень щодо підвищення функціональності природно-техногенних об'єктів за умови відповідності їх вимогам сталого розвитку.

Інформаційне забезпечення для розв'язання таких системних задач повинно мати корпоративну структуру. Корпоративність полягає у створенні єдиного інформаційного простору – об'єднання інформаційного поля галузевих знань у наукоємний напрямок для досягнення мети і цілей міждисциплінарних досліджень у прийнятті рішень з питань екобезпеки чи якості складних об'єктів.

Концепція інформаційного простору, оболонки системного аналізу пов'язана з визначенням концептуальної моделі об'єкта дослідження за сценарно-цільовим підходом формування знання-орієнтованих систем з оцінки рівня екобезпеки його стану та сталого розвитку [1].

Формування інформаційного простору пов'язано з розробкою базових інтелектуальних інформаційно-технологічних модулів:

- створення і обробка баз знань;
- програмно-апаратні засоби обробки і прийняття рішень;
- розпізнавання і обробка образу (креслення, тексти тощо).

Досліджена система таким чином стає інформаційним полем знань, предметно-орієнтованих на різні галузі наук. У базі знань предметних областей мають місце відомості, дані про розробки різноманітних моделей, аналіз і синтез яких виконується у відповідності до розв'язання конкретних задач екологічної безпеки (рис. 1).



---> – інформаційна підтримка подолання невизначеності

Рис. 1. Сценарно-цільовий підхід розробки знання-орієнтованих систем

Відповідно до задач загальної оцінки екологічної безпеки передбачається комплексний системний аналіз: об'єкт надається у системній структурі; аналізуються не тільки складові, а і зв'язки, явища і процеси як окремі системи; кожна система має свої цілі, що відповідають стратегії виконання мети досягнення рівня екологічної безпеки в цілому для об'єкта. При розв'язанні задач екобезпеки об'єктів, що розвиваються, враховується різномірна природа його складових систем відповідно до наявних галузевих знань. Інформаційна організація об'єкта системного аналізу виходить за межі класифікаційного поняття складності (великі системи тощо), стає доцільним відобразити його як комплексне утворення і корпоративну систему з кооперативними зв'язками, які становлять основу її самоорганізації з досягнення стабільності і рівноважного розвитку (синергетика) [26, 124, 137].

У такому складному об'єкті дослідження виділяють цільовий комплекс "(система $\xleftrightarrow{\text{процес}}$ зовнішнє середовище) $\xrightarrow{\text{стан}}$ система $\xrightarrow{\text{процес}}$ зміни системи – процес – ((стан системи)' – зовнішнє середовище)", в якому як елементи розглядають системи, їх зовнішнє середовище, що утворює внутрішній простір об'єкта, де самоорганізуються зв'язки і таким чином формується структура об'єкта, взаємодіючого з навколишнім середовищем. Кооперативна дія внутрішніх і зовнішніх процесів стабілізує складну систему, що і відповідає уявленню синергетики про явища [2].

Інформаційне навантаження за таким системним аналізом передбачає базу знань з 2-х аспектів – конкретні галузеві знання економічних, соціальних і екологічних наук; теоретико-практичні знання процесів і динаміки розвитку систем. Кожна система знань надає інформаційне забезпечення про обсяги даних у певній галузі, що є основою розв’язання саме її задач і в той же час є складовою у вирішенні проблемних задач екологічної безпеки системних утворень, що розвиваються.

Основою системного аналізу складно структурованого об’єкта визначена послідовність реалізації методів вирішення науково прикладних завдань з екологічної безпеки на кібернетичній основі.

Взаємоузгодженість різнопланових визначень і оцінок у межах комплексного дослідження екологічної якості соціально-економічної систем досягається завдяки усвідомленню знань-інформаційних даних (експериментально-дослідної інформації) на рівні системних утворень відповідно до опису поведження складних систем у термінах ентропія, антиентропія, узагальнена негентропія й ентропійний баланс.

Універсальність ентропійної функції щодо її застосування у дослідженні системного об’єкта виду "(система – зовнішнє середовище) – система – зміни системи – процес – ((стан системи)' – зовнішнє середовище)" визначається такими аспектами.

По-перше, *ентропія як міра невизначеності* стану будь-якої упорядкованої фізичної системи, або поведження будь-якої системи, включаючи живі й неживі об’єкти і їхні функції. Ця форма ентропії, пов’язана з невизначеністю стану системи, використовується при дослідженні живих і неживих об’єктів, процесів. Значення ентропії не має своєї розмірності.

По-друге, *термодинамічна ентропія* мікрочастинок, або молекулярної (мікроскопічної) множини.

По-третє, *інформаційна ентропія*, або невизначеність інформації, тобто відомостей про деяку інформаційну систему. Збіг за виглядом формул для ентропії й інформації стало підставою для твердження, що ентропія є відсутня інформація про стан системи.

При відстеженні зв’язку між ентропією та інформацією встановлено існування негентропії як тотожної зв’язаної інформації про стан системи. Негентропія не є негативною ентропією, або антиентропією, як іноді помилково вважають деякі вчені. Різниця масштабів ентропії й інформації пов’язана з їх принциповим розходженням, а саме *ентропія* – це міра множини тих станів

системи, про перебування в яких система повинна забути, а *інформація* – це міра множини тих станів, про перебування в яких система повинна пам'ятати.

По-четверте, *ентропія* – невизначеність поведінки не цілком упорядкованої системи будь-якої розмірності до макроскопічних множин.

Для наукових досліджень застосовані різного роду ентропії: термодинамічна, фізична, інформаційна, біологічна, політична, екологічна, соціальна, історична й т.д. У системному аналізі більш прийнятними є інформаційна ентропія, *термодинамічна ентропія* – міра неупорядкованості (безладдя, не порядок, хаос) мікрочастинок; *фізична ентропія* – міра енергетичної впорядкованості об'єкта і являє собою функцію від числа можливих його станів.

За попереднім аналізом підходів з розв'язання задач якості “об'єкт – НС” встановлено, що узагальненою характеристикою стану і процесів є функція ентропії/інформації:

$$S_x = -\sum_{n=1}^N p_n \cdot \log_2 p_n = -M[\log_2 p_n], \quad (1)$$

де M – оператор математичного очікування.

За виразом (1) функція ентропії/інформації становить міру невизначеності (неточності знань), кількості інформації, необхідної для надання оцінки стану будь-яких систем, і застосовується в методичному забезпеченні вирішення завдань екобезпеки.

Загальне визначення інформації за Шенноном:

$$S_x = -\sum_{s=1}^l \frac{N_i}{N} \cdot \ln \frac{N_i}{N}, \quad (2)$$

де N_i – чисельність i -ї популяції в угрупованні з l видів;

$$N = \sum_{s=1}^l N_i \text{ – сумарна чисельність досліджених особин.}$$

Інформація (2) пов'язана з статистичною й імовірнісною інтерпретацією кількості інформації для випадкового об'єкта. Вихідні дані про стан такого об'єкта ξ визначаються розподілом ймовірностей $P\{\xi \equiv x_i\} \equiv p_i$. При наявності такого розподілу з можливих значень x_1, x_2, \dots, x_k , які дорівнюють дійсно встановленим властивостям ξ , залишається остаточно невизначеним стан

об'єкта за відсутності повного обсягу інформації. Усунення відсутності необхідного обсягу інформації пропонується через додатковий розподіл для випадкового об'єкта η з розглядом при цьому сумісного розподілу ймовірностей $P\{\xi = x_i, \eta = y_j\} = p_{ij}$.

За умови дослідження складних об'єктів більш вірогідною є наявність достовірних даних (інформації з природного стану об'єкта) $\eta = y_j$ і встановлення умовного розподілу ξ : $P\{\xi = x_i | \eta = y_j\} = p_{i|j}$. Зазвичай при дослідженні природно-техногенних комплексів використовуються моніторингова інформація і база знань (феноменологічний підхід) для системного аналізу і формування в його межах моделей і рішень з управління якістю "об'єкт – навколишнє соціально-природне середовище".

Кількість інформації для встановлення точного опису ξ при наявності відомого і достатнього обсягу значень $\eta = y_j$ визначається за функцією

$$S(\xi | \eta = y_j) = -\sum_i p_{i|j} \log_2 p_{i|j}, \quad (3)$$

що в середньому становить

$$MS(\xi | \eta) = -\sum_j P(\eta = y_j) \sum_i p_{i|j} \log_2 p_{i|j}, \quad (4)$$

де $S(\xi | \eta)$ – умовна ентропія η при $\xi = x$;

$MS(\xi | \eta)$ – математичне очікування умовної ентропії при змінній ξ [83].

Процеси і явища розглядають з позицій прагнення системи до стабільності, тобто рівноважного стану, і незворотності, як і хаос, пов'язуються з статистичним формулюванням законів динаміки за теорією Колмогорова–Арнольда-Мозера (КАМ): зв'язок резонансів з траєкторією у фазовому просторі визначено зростанням ентропії і розширенням цього простору.

Частота змін w і особливо резонансних залежить від значень динамічних змінних q і p . У фазовому просторі величина w має різні значення, що спричиняє в одних резонанс в інших ні. Неоднорідність сформованого таким чином простору системи чи середовища породжує такі наслідки, що загалом приводять до самоорганізації системи і отримання певної інформації про неї і її взаємодію з оточенням.

Для неінтегрованої системи при визначенні динаміки переходять від понять траєкторії до термодинамічного визначення імовірності (1–2). Визначаючи стан системи з позицій термодинамічного підходу за пропозицією І. Р. Пригожина оперують до понять стійкості та дестабілізації з максимізацією неупорядкованості, тобто зростання ентропії і досягнення точки біфуркації. З урахуванням системності об'єкта дослідження дещо змінюється відображення змін в системі за ентропійною ознакою. Аналіз включає розгляд довільних процесів, які приводять систему до позитивних і небажаних ефектів [1, 3].

Зароджена внутрішніми і зовнішніми факторами негентропія дозволяє перебіг процесів саморегулювання, що приводить систему до найближчого рівноважного стану. У цій точці сталого функціонування система набуває відповідного аттрактора при зниженні вільної енергії в системі з наступним виробництвом ентропії: $\Delta S \rightarrow 0, S_1 \rightarrow \min$ (рис. 2, 1).

Еволюційний розвиток – це довільний процес досягнення системою нового рівня стабільності за зміненим організаційно-структурним станом: $\Delta S > 0, S_2 \rightarrow \max$ (умовно мінімальне) (рис. 2, 2).

Недосягнення системою бажаної сталості, розвиток, динамічні зміни супроводжується проявом імовірнісних, стохастичних, випадкових процесів, які відрізняються рівнем невизначеності: $\Delta S \rightarrow \infty, S_3 \rightarrow \infty$ (умовно мінімальне) (рис. 2, 3) [1–4].

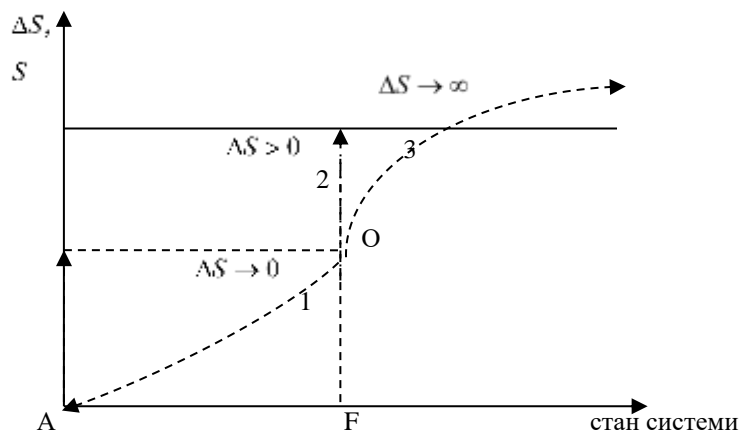


Рис. 2. Динаміка змін у стані об'єктів системних досліджень:

A – початковий стан системи; F – кінцевий стан системи; 1, 2, 3 – напрямки змін; $\Delta S, S$ – зміна і значення ентропії в системі; O – точка біфуркації

Кінцевий стан встановлюється за структурною ентропією, відповідно до якої формується прагнення системи до рівноваги за об'єктивними вимогами

другого закону термодинаміки. Зовнішнє навколишнє середовище за своїм станом і дією на об'єкт і системи спричиняє протиріччя у розвитку складових об'єкта чи елементів системи. Усунення нестабільності пов'язано з процесами адаптації, виникнення локальних складових інформаційної ентропії (ІЕ). Сукупність локальних ІЕ визначає інтегральну складову ІЕ, яка відповідає за ступінь досягнення незавершеності адаптації.

Узгодженість об'єкта і систем навколишнього середовища, тобто встановлення стаціонарності їх відносин, адаптованості один до одного ідентифікується через зростання рівня структурної ентропії за порогові значення, що обумовлює інформаційну ентропію при зростанні її інтегральної складової. Збільшення ентропії до її максимуму в точці протиріччя обумовлює перехід до ймовірнісного стану, перетворення структурної в інформаційну ентропію з доведенням до нуля її локальної складової і наближенням до максимуму інтегральної.

Така послідовність станів, процесів складає сутність гармонійності взаємодії (природної стаціонарної функціональності) об'єкта і навколишнього середовища, систем і внутрішнього об'єктного середовища. Невизначеність при виникненні деструктивних елементів "система–НС" розв'язується послідовністю (етапністю) усунення її на основі системного аналізу відповідностей у системах з декомпозиції для їх аналітичної оцінки – *система, статистичний стан; фактори функціональності і взаємодії; процеси взаємодії й адаптації, рівноважний стан системи.*

Аналіз визначених систем спрямований на встановлення відхилень у цільових відповідностях, що не дозволяє в кінцевому стані досягти рівноваги системи. Такі відхилення від апріорі прийнятого природного регулювання гомеостазу об'єкт (система) – навколишнє середовище» визначаються як виникнення і розвиток ризику. Для уникнення ризику необхідним є прийняття рішення щодо урегулювання невідповідностей у системах. З позицій використання ентропійної функції *регулювання* – це дії, спрямовані на підтримку того, що стабілізує й урівноважує систему. Управління ж має на увазі більш жорстке втручання в систему. За теорією системного аналізу управління визначається у двох трактуваннях [1–5].

Управління як загальна категорія якості встановлює форми та види зміни властивостей і поведінки досліджених об'єктів: перетворення структури; формування нових якостей і цілей системи.

Управління як зміна дій, властивостей систем у заздалегідь визначених (прийнятих, встановлених як оптимальні) межах.

Розв'язання задач з оцінки якості системних об'єктів розглядає першу змістовність управління у зв'язку з необхідністю встановлення початкової рівноваги на будь-якому рівні організації системи. За умови створення цілеспрямованої системи певної якості реалізують керовані зміни за системою заходів спеціалізованого управління. У будь-якому варіанті необхідним є досягнення точки відповідності, що гарантується тільки при мінімальному ризику прийняття рішення: не втручання, а контроль самовільної адаптації і довільних процесів; регулювання і на кінець управління.

За всіх трьох рішень система чи об'єкт повинен досягти атрактора – структура (функція), яка задає (визначає) стійкий стан системи (синергетика, нелінійне мислення). Таким чином, реалізується імовірний стан системи, імовірна цілеспрямована дія, що призведе до максимального упорядкування і самоорганізації об'єкта ($\Delta S \rightarrow 0, S_1 \rightarrow \min \rightarrow \Delta S > 0, S_2 \rightarrow \max$).

Для оцінки рівня екологічної безпеки “система – НС” пропонується алгоритм (рис. 3) реалізації імовірнісно-ентропійного підходу з визначення стану за кількістю інформації ξ , що міститься в отриманих результатах попереднього етапу розв'язку задачі чи встановлюється відносно характеристик системи η . Загальний стан об'єкта дослідження визначається такими залежностями інформаційної функції [1–5]:

$$I(\xi|\eta) = S(\xi) - MS(\xi|\eta);$$

$$I(\eta|\xi) = -\sum_i p_{ij} \log_2 \frac{p_{ij}}{P\{\xi = x_i\}P\{\eta = y_j\}}, \quad (5)$$

де $I(\xi|\eta)$ – кількість інформації в ξ відносно η ,

$I(\eta|\xi)$ – кількість інформації в η відносно ξ ;

$S(\xi)$ – ентропія стану ξ ;

$MS(\xi|\eta)$ – математичне очікування умовної ентропії при змінній ξ ;

p_{ij} – сумісний розподіл ймовірностей.

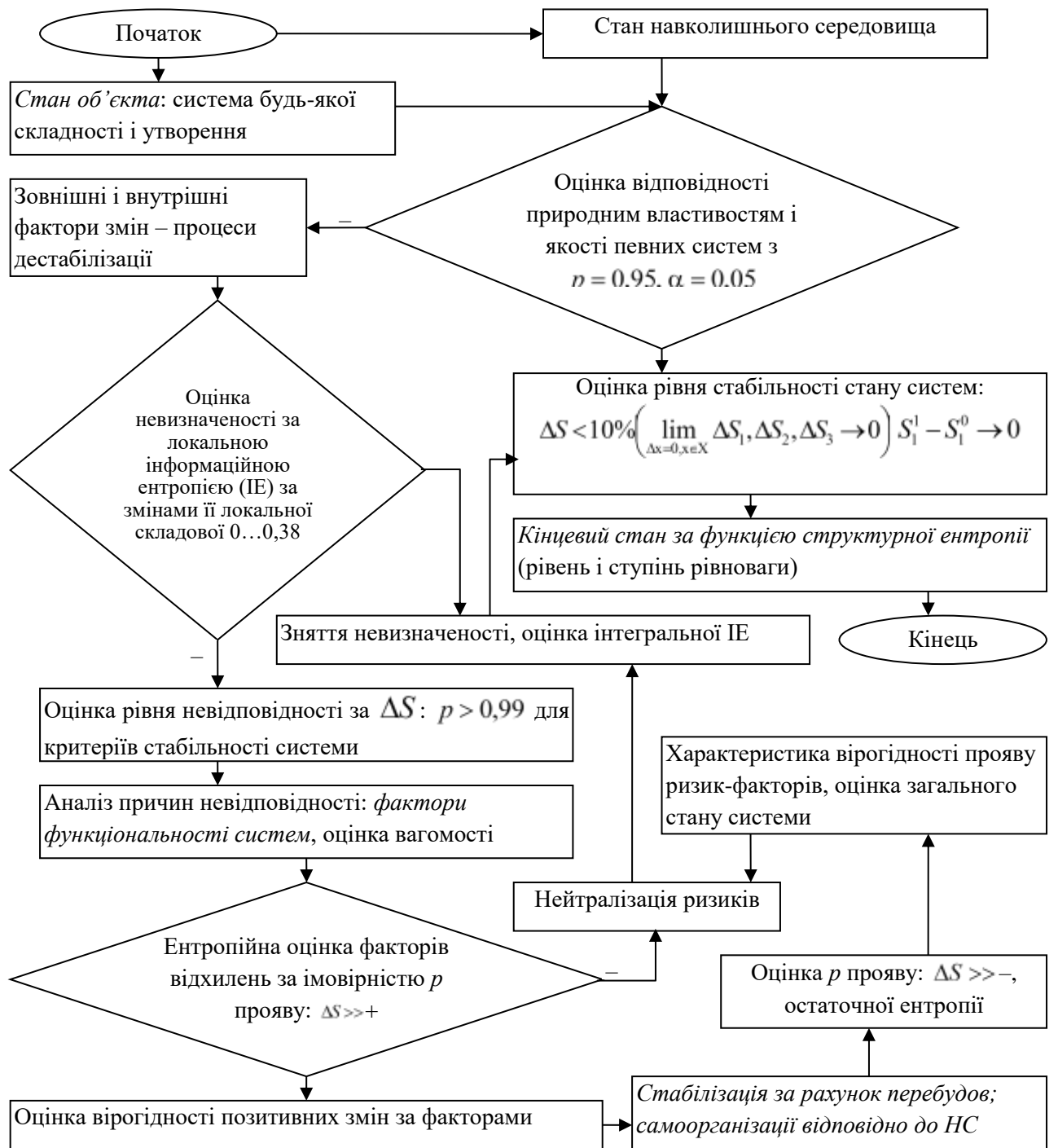


Рис. 3. Імовірнісно-ентропійна оцінка стану системи і її змін: p – ймовірність відповідності природним властивостям; α – похибка оцінки; $\Delta S, \Delta S_1, \Delta S_2, \Delta S_3$ – оцінка загальних змін, імовірнісних, стохастичних, випадкових процесів

Відповідно до положень теорії інформації для оцінки відповідності стану різноманітних складових системних об'єктів і характеристик різних факторів запроваджуються елементи компараторної ідентифікації з утворенням

“нумерованої” області об’єктів $X = \{x\}$, де кожному елементу множини ставиться у відповідність нуль або одиниця за такою послідовністю [1–5]:

1) внутрішній стан системного об’єкта відображається залежностями:

$$Y_1 = f_1(x_1; x'_1); Y_2 = f_2(x_2; x'_2),$$

де x_1, x_2 – рівень екологічності та безпечності відповідних станів системи;
 $f(x_1; x'_1)$ – функція стану системи;

x'_1, x'_2 – новий стан системи;

2) пріоритетність рішення пов’язується з стабілізацією природних параметрів й регулюючого управління, що надається предикатом

$$P(x_1, x'_1) = D(f(x_1), f(x'_1)),$$

$$D(Y_1, Y'_1) = \begin{cases} 1, & \text{при } x_1 \neq x'_1; \\ 0, & \text{при } x_1 = x'_1; \end{cases} \quad (6)$$

3) компаратор реалізує предикат виду

$$K(Y_1, Y_2) = t,$$

який відповідає відношенню "K-предикат компаратора":

$$EK(Y_1, Y_2) = \begin{cases} 1 - \text{визначені порушення у системі}; \\ 0 - \text{система функціонує без порушень}. \end{cases} \quad (7)$$

Отже, складний об’єкт у при взаємодії з заданим x (чи зв’язок між системами в об’єкті) визначається певним гомеостатичним процесом, відхилення якого від заданої програми дій повинно бути мінімальним. Функція відображення цього стану $\varphi(p, x) = y$ є частково рекурсивною, оскільки має місце деяка невизначеність встановлення такої взаємодії: $I_A(x; y)$ [1–5].

Для такої функції за логікою цілі досягнення природної (початкової встановленої, бажаної цілеспрямованої) стійкості для об’єкта прийнято

$$K(y/x) = \begin{cases} 0 - \min_{\varphi(p,x)=y} l(p) \rightarrow 0; \\ 1 - \varphi(p,x) \neq y, (p) \rightarrow \infty. \end{cases} \quad (8)$$

Відповідно до варіантів досягнення стаціонарності (стійкості “об’єкт – навколишнє середовище”) (8) необхідним є визначення регулюючої/управляючої дії до існуючого становища $v = \varphi(u)$, яка є асимптоматично оптимальною за умови, що для будь-яких x і y складність $K_A(y/x)$ є кінцевою. Врахування невизначеності і регулюючої дії для отримання відповідності та інформації про отриманий стан за умови визначення кількості інформації в x відносно y спирається на таке:

$$\begin{aligned} K_A(y/x) &\leq K_\varphi(y/x) + C_\varphi; \\ K_A(y/1) &= K_A(y); \\ I_A(y : x) &= K_A(y) - K_A(y/x) \gtrsim 0, \end{aligned} \quad (9)$$

де константа C_φ не залежить від x і y , $K(y/x)$ – умовна ентропія Колмогорова об’єкта y при відомому об’єкті x , що є основою для визначення поняття “кількість інформації”.

Отже, алгоритмічний підхід слід вважати узагальнюючим з погляду на об’єкт як цілісність, що має свою мікроструктуру, до якої запропоновано відносити не тільки компоненти і елементи системного об’єкта, а і процеси його функціонування. Загальне однозначне відображення неперервних змінних реальних об’єктів, для яких ентропія нескінченна, через функцію інформації у широкому колі випадків є скінченне за імовірнісною концепцією:

$$I_w(x, y) = \iint P_{xy}(dxdy) \log_2 \frac{P_{xy}(dxdy)}{P_x(dx)P_y(dy)} \quad (10)$$

Така оцінка з врахуванням індивідуальної кількості інформації змістовна при значному обсягу інформації.

Ентропійно-інформаційна оцінка якості розглядається як універсальна аналітична система якості до об’єкта будь-якої природи і складності. Саме такий комплексний підхід до аналізу відповідності вимогам екологічності/безпеки пропонується запровадити при розв’язанні задач сталого

розвитку стосовно системного об'єкта у вигляді соціально-еколого-економічної системи, природно-техногенного комплексу для досліджених територій.

Відповідно до класики уявлення про ентропію і внесених пропозицій щодо використання ентропії як характеристики інформації про стан складного об'єкта в суцільній його якості (стан-властивості, функціональність-процеси) з позицій трьох аспектів сталого розвитку стоїть задача використання різних форм ентропії і функції ентропії на певних етапах реалізації системного аналізу у вигляді імовірісно-ентропійної оцінки стану системи і ризик-факторів.

- На початковій стадії аналізу розглядається *апріорна ентропія* як визначення її індикатором/фактом існування фізичного об'єкта, процесу.

- За проявом властивостей системи, за наслідком якого проявляється стан її якості, фіксований системою моніторингу з урахуванням взаємодії з оточуючими системами і умов навколишнього середовища, формується вихідна інформація і для аналізу застосовується *функція ентропії*.

- Характеристика кінцевого стану складного об'єкту надається мірою кількості інформації в межах ознак і умов для найбільш імовірного стану системи як функція стану “ентропія-інформація” і у запропонованій формі *функції ентропії* для аналітичних систем “зміни стану”, “фактори функціональності: стабілізації, порушень”; “процеси стабілізації” і “дестабілізації”, “відповідність гомеостазу”. Невизначеність об'єктивно виникає при аналізі складних системних утворень стосовно станів і наслідків взаємодій, відсутності/недостатності інформації і знань про явища і процеси. Враховуючи цей факт, запропоновано використати положення теорії інформатики Колмогорова з встановленням точних даних для однієї системи при наявності відомого і достатнього обсягу значень для іншої з подальшим удосконаленням ентропійно-інформаційної функції на основі методу компараторної ідентифікації і аналізом відхилень [1–5].

- На кінцевій стадії прийняття рішення щодо відповідності стану об'єкта вимогам виконаних досліджень його якості застосовують підходи з визначення ентропії Колмогорова з віднесенням їх до певних зазначених вище етапів аналізу у такій послідовності: алгоритмічний, імовірнісний, (комбінаторний, імовірнісний). При необхідності регулювання/управління обґрунтовуються заходи підтримки стабілізуючих процесів, підсилення факторів позитивних змін/впливу на систему за результатами комбінаторного підходу на базі даних алгоритмічного з використанням функції інтегральної умовної ентропії (інформації) (10). Відповідність природному гомеостатичному

стану, остаточна оцінка якості об'єкта встановлюється на основі бази знань-орієнтованих систем (рис. 4) [1–5].

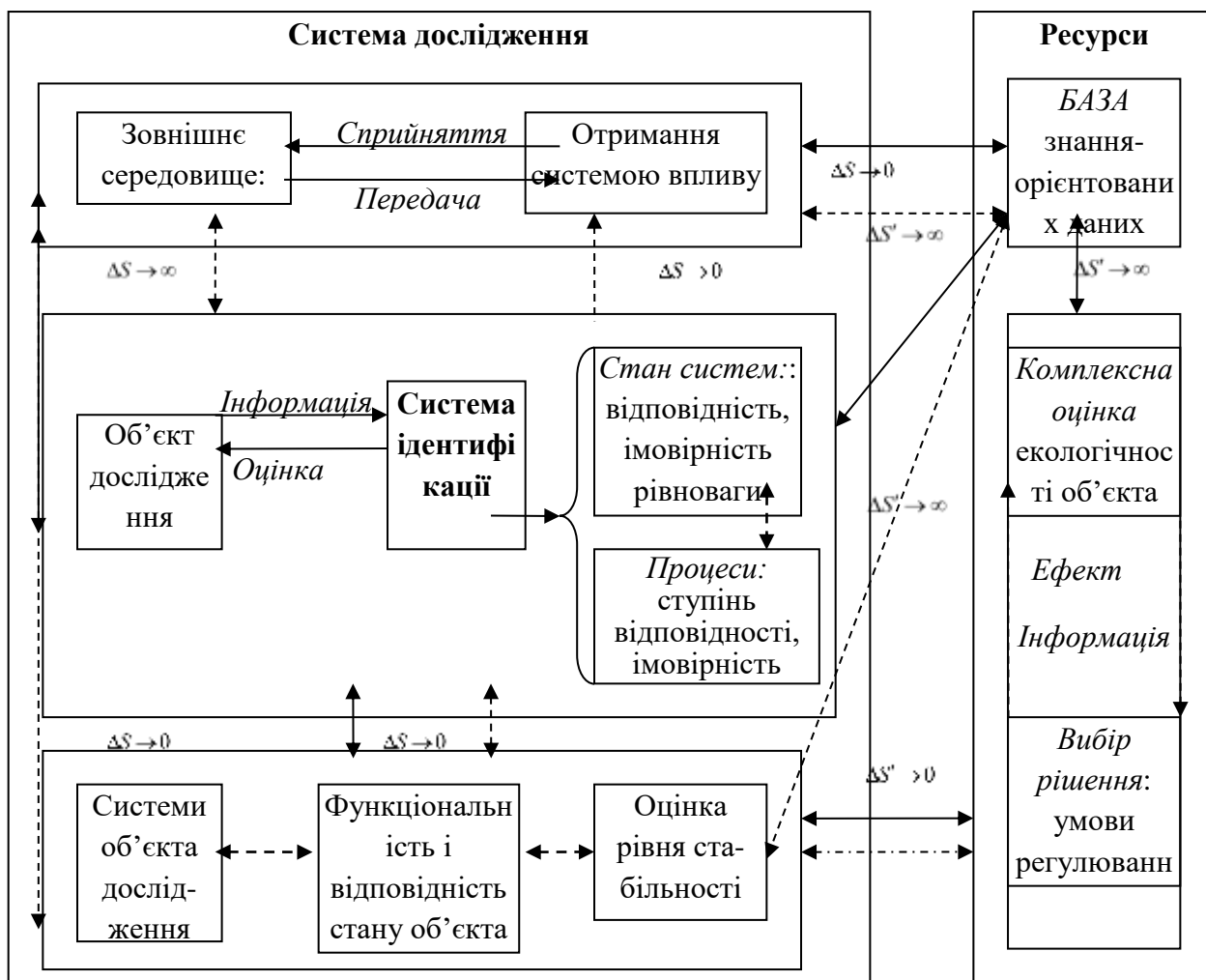


Рис. 4. Імітаційна модель процесу ентропійно-інформаційного оцінювання відповідності системних об'єктів: ΔS і $\Delta S' \rightarrow 0$ – стан рівноваги при відповідності цільовій взаємодії “система – навколишнє середовище” за умови різниці між результатом впливу і стабілізаційним станом об'єкта (ΔS) і вимогами відповідності ($\Delta S'$); ΔS і $\Delta S' \rightarrow \infty$ – стан стаціонарності безкінечного розвитку системи за умови відповідності цільовій рівновазі

Доцільність використання ентропійного оцінювання змістовно складних об'єктів дослідження ґрунтується на положеннях теореми стратифікації: увесь простір ресурсних факторів функціональності системи (об'єкта) розпадається (стратифікується) на непересічні області (страти), кожна з яких відповідає одній з підмножин споживаних системою (об'єктом) ресурсів. У страті N^j з не пустою підмножиною ресурсів $J \{1, 2, \dots, m\}$, виконуються умови:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^r p_i \ln p_i \rightarrow \max; \frac{M}{N} = \sum_{i=1}^r p_i m_i; \\ \sum_{i=1}^r p_i = 1. \end{cases}, p_i = \frac{e^{-\beta m_i}}{\sum_{i=1}^r e^{-\beta m_i}}, \quad (11)$$

де β – множник Лагранжа за умови $p_i \rightarrow p(m)dm, \Delta m \rightarrow dm$.

Характер невідповідності системи визначається при встановлених процесах в об'єкті/системі за такою шкалою величини змін ентропії ΔS :

– позитивна – хаотичне збільшення системи, неупорядкований розвиток, відсутність на даний час умов для самодовільних процесів стабілізації стану, структуризації у межах системи;

– нульова – стаціонарність стану, підтримка процесів функціональності, відтворюваність структури без суттєвих варіацій системи;

– від'ємна, менше нуля – розвиток системи за рахунок самодовільних процесів упорядкування на новому рівні складності, досягнення максимуму стаціонарності з підтримки самоорганізації стану системи.

Таким чином, ідентифікація відповідності і підтримка процесів її стабілізації має імовірно-інформаційну природу.

При аналізі складних об'єктів використані знання враховують, що кожна аналізована система об'єкта є високоорганізованою, тобто має розвинену й складну структуру, менш організованою з простою структурою, зовсім хаотичною, коли її елементи розподілені випадково й, у середньому, однорідним чином. Для аналізу необоротних процесів використовують фундаментальні положення теорії утворення структур і звертаються до фрактальної геометрії для отримання зв'язку базових понять *хаос* і *структура*, *різні ентропії з кількісної оцінки систем різної природи*.

Аналіз можливостей самоорганізації в межах внутрішнього середовища систем і їх взаємодії з НС, підтримки зв'язків, що гомогенізують системний простір, не дозволяючи створювати точки напруги – ентропійного вибуху, реалізації хаосу пов'язують з процесами розвитку та еволюції (послідовність нових структур) системного об'єкта, який за умови підтримки стабільності зберігає цілісність. Головне завдання при синергетичному аналізі складних систем полягає у виявленні головних факторів на кожному етапі послідовного і незворотного переходу від одного стану систем до іншого з реалізацією певного рівня внутрішньої організації і ступеню зв'язаності структурних

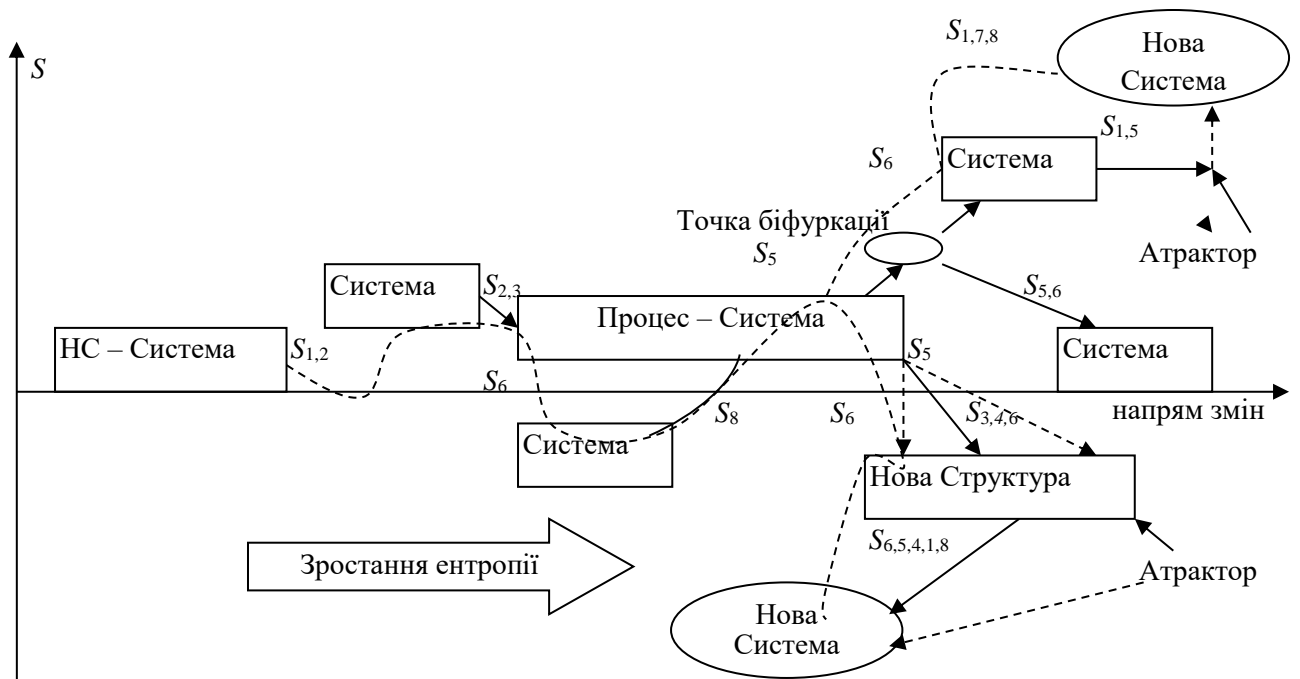
елементів при перевазі певного типу зв'язку між ними. Для ідентифікації передкризових станів запроваджується комплексний сигнальний підхід на основі сучасних методів синергетики, мультифрактального та вейвлет аналізу, ентропійних методів, графологічних моделей тощо.

Зміну ентропійної функції системи, що визначає її стан, пов'язують з проявом двох процесів: $d_e S$ – взаємодії з зовнішнім середовищем (ендогенна компонента); $d_i S$ – внутрішніх змін системи (екзогенна компонента):

$$dS = d_e S + d_i S \quad (12)$$

За умови $d_i S = 0$ встановлені зміни є зворотними, для незворотних процесів ідентифікують потік ентропії $d_i S > 0$. Отже, зростання ентропії вказує на незворотність процесів. Зважаючи на необхідність охоплення всього об'єму системного середовища об'єкта дослідження, вагомими стають для аналізу кооперативні процеси в дисипативному просторі. У разі незворотних змін з порушенням визначеного зв'язку між елементами аналізованої системи з розвитком внутрішніх неврівноважених динамічних процесів і відповідним нарощенням флуктуацій встановлюють точки біфуркації.

Для оцінки стану екологічної безпеки таких системних утворень як соціально-еколого-економічні системи застосовують методи фрактальної математики, положення теорій біфуркацій, ланцюгових реакцій, Марківських процесів, нерівноважної термодинаміки, самоорганізації І. Пригожина, синергетики Г. Хакена тощо. Прояв синергетичних ефектів в соціально-еколого-економічних системах визначається кооперативною дією зв'язків між їх складовими, що призводить до зміни якості, траєкторії розвитку об'єкта дослідження. Значне тривале відхилення від стану рівноваги призводить до закріплення у просторово-часовому середовищі існування об'єкта (системи) накопичення дисипативних утворень, інтенсифікації дисипації з різкою зміною його систем у напрямку притягнення їх аттрактором (рис. 5) [1–5].



----- – інформаційний потік даних, інформація змін; —> – фізичний потік даних, фізичні зміни; $S_{1,2,3,4,5,6,7,8}$ – ентропія інформаційна, термодинамічна, Больцмана, Гіббса, Шеннона, Колмагорова, Ренні – Тсаллеса, вейвлет ентропія

Рис. 5. Схема змін стану системи за ентропійно-інформаційними оцінками пошуку рівноваги

Досягнення гомеостатичного стану об'єктом за умови виконання ним природних (визначених з початку) макрофункцій визначається необхідною повноцінною гранично мінімальною кількістю важливих функцій для інформаційної підтримки стійкості його систем. Це потребує дотримання умов високої активності компонентів, елементів систем, структурної цілісності та значної функціональної гнучкості. Синергетика такого гомеостазу системного об'єкта визначається інформаційним балансом ентропії стану його внутрішнього і зовнішнього середовища, запасом гнучкості та стійкості складових елементів, що забезпечує структурну цілісність і надалі підтримує первинність її макровластивостей.

Флуктуації являють собою результат дії НС на систему, взаємодії "система – НС" розглядаються як процеси, які призводять до змін у разі перенесення матеріальних, енергетичних та інформаційних потоків. Останній є вхідним сигналом у систему з зовнішнього середовища і становить характеристику сталого (гармонійного) співіснування системи з зовнішнім

середовищем, що являє умови для забезпечення стаціонарного стану системи і виконання нею функціональних властивостей.

Визначення Стан системного об'єкта управління якістю визначається стохастичними процесами й виражається розподілом імовірності змін, що залежить від дії різних факторів: параметрів порядку (ξ_u) (кількості факторів, які впливають на систему), амплітуди підлеглих мод (ξ_s), тобто додаткових впливів на систему.

Зміни, що відбуваються в дослідженій інтегровальній (системній) структурі під впливом зовнішніх управляючих впливів і внутрішніх процесів перетворення речовини й енергії, фіксуються у вигляді збільшення інформації/зміни ентропії стану за розподілом ймовірності $P(\xi_u, \xi_s)$ змін:

$$P(\xi_u, \xi_s) = \prod_s P_s(\xi_s | \xi_u) f(\xi_u). \quad (13)$$

Оскільки інформація I загалом визначається за формулою (1) як $i = -\sum_j P_j \cdot \ln P_j$, то її збільшення визначається сумою виду

$$I = I_f + \sum_s I_s, \quad (14)$$

де I_f – інформація щодо параметрів порядку при постійній дії детермінованих внутрішніх і зовнішніх факторів на систему, є величиною безперервною: $I_f = -\sum_{\xi_u} f(\xi_u) \ln f(\xi_u)$; I_s – інформація, яка відноситься до підлеглої моди з індексом S : $I_s = -\sum_{\xi_s} P_s(\xi_s | \xi_u) \ln P_s(\xi_s | \xi_u)$.

При виході системи зі стану рівноваги інформація про додаткові впливи або стохастичні явища різкої зміни не зазнає, а інформація, яка характеризує стан системи, різко змінюється.

Величина I_s є інформацією в припущенні, що величина ξ_u набуває певного значення. Таким чином, оцінити зовнішній вплив і наявність екологічної небезпеки для системного об'єкта можливо за інформацією про стан систем (параметри порядку). Параметр порядку підпорядковує моди особливим чином гарантує виникнення макроскопічної структури і її гармонійний вплив на системи. Поводження об'єкта поблизу порога стійкості

характеризується сильним зростанням інформації відповідно до критичних флуктуацій [1–5].

Критерієм оптимальності функціонування системного об'єкта є збереження сталості, рівноваги і стаціонарності за умови $\Delta S \rightarrow \min \rightarrow 0$ і стан характеризується максимумом умовної ентропії $S = \max$ з погляду його варіації для імовірної реалізації системного утворення.

Ентропійно-інформаційне оцінювання відповідності з метою уникнення ризиків значних варіацій системи, прийняття недійового рішення за комбінаторним підходом передбачає встановлення такого значення функції стану системи (самостійної чи складової об'єкта) за простою ентропією Колмогорова $S(x) \leq i + C$, де C – константа, яка залежить від вибору p, q , дозволяє для будь-якого i за рахунок довільних процесів, буферності системи досягти рівноваги і умов зменшення ентропії $S(x) \leq i$. Вагоме зменшення ентропії при інтенсивному прояві регулюючих механізмів в системі (об'єкті) визначає вибір шляху її розвитку.

Необхідність узгодження структури і характеристик процесів при управлінні гармонійним розвитком системних об'єктів потребує звернення до методів інтелектуального аналізу даних. Такий аналіз важливий при реєстрації послідовності ефектів чи подій і процесу, який спричиняє їх ненормалізований прояв. Звідси постає задача оцінки стану екологічної безпеки складного об'єкта за результатами аналізу перебігу процесів в системі/об'єкті, виходячи з наявної локальної інформації про зміни в них, на основі використання знання-орієнтованих баз даних. Якщо аналіз стану систем при наявній сукупності у потоці даних не становить труднощів, то з урахуванням перебігу процесів у напряду реалізації гомеостазу у дослідженому об'єкті розглядається задача неявного вибору структури процесів і напряду їх здійснення для досягнення цільової точки стаціонарності стану об'єкта. Явні залежності “стан – процес/ефект, зміна – стан” відображають безпосередньо причинно-наслідкові зв'язки між подіями. Вагомість умовностей для бажаного процесу визначається непрямыми зв'язками між станами і змінами.

Параметрично стан і процес, подія причинно-наслідкового характеру розглядається як відхилення від норми і визначається через ентропійну

функцію. Таким чином, отримують формальні алгебро-логічні моделі конструкції неявного вибору за аналізом вагомих особливостей послідовності подій з неявним вибором процесу.

Для опису відношень при наявній вхідній і вихідній інформації у вигляді знань про стан і процес, даних про проміжні змінні, що визначають перетворення у системі, використовують логічні мережі. Інформація за зазначеною аналітичною системою надається як логічний простір з множини векторів над полем скалярів, для яких прийнятні закони ідемпотентності, комутативності, асоціативності, нуля та одиниці, а зв'язок між скалярами та векторами описують за відповідною оцінкою диз'юнкції/кон'юнкції скалярів і диз'юнкції/кон'юнкції векторів та законів нуля та одиниці [1–5].

Враховуючи необхідність переходу до функції відношень між просторами стану – початковим у фіксований моменту часу і змінним у деякий час (за проявом відхилень від звичайного), при наявних елементах невизначеності розглядаються лінійні логічні перетворення для Відповідно до загального підходу з розв'язання різноманітних проблем завдяки логіки предикатів здійснюється перехід від теорії категорій до практики. Уникнення складностей при невизначеності в дослідженій ситуації завдяки логіки функціональної відповідності при встановленій структурі відношень розглядають низку довільних лінійних логічних перетворень предикатів. При цьому враховується, що кінцевий результат, тобто вихідний стан системи залежить і від початкового стану, і від напряму процесів та умов їх перебігу і результатів. Саме точки перетину цих критеріїв дають об'єктивний кінцевий висновок у досягненні рішення за відповідною постановкою задачі.

Ядро логічного перетворення задається графом відношень між складовими критеріїв стану для ξ і η (рис. 6) [1–5].

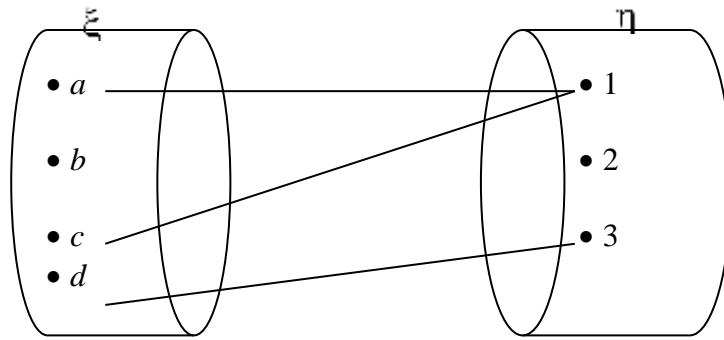


Рис. 6. Графічна схема ядра лінійного логічного перетворення $K(x, y)$

При наданні еколого-економічного аналізу системний об'єкт ξ в силу своєї складності і множинних зв'язків з НС попадає в ситуацію невизначеності за критеріями оцінювання: рівень економічного розвитку (a – економічна система), індекс соціально-економічного благополуччя суспільства (b – соціально-економічна система), рівень екологічності (c – екологічна система), оцінка здоров'я населення (d – соціальна система). Наявні інформаційні неточності, відсутності пропонується доповнювати завдяки функції відношень, наприклад існуючою загальною інформацією щодо економічних (1), соціальних (2) та екологічних (3) показників якості (див. рис. 6). Для отримання даних стосовно ξ запроваджуємо ядро перетворення лінійно логічного виду при наданні загальної оцінки якості для ξ , що враховує усі критерії оцінювання, тобто маємо з'єднання і кінцевий результат з урахуванням інформації за η :

$$K(x, y) = (x^a \vee x^c) y^1 \vee x^d y^3;$$

$$\begin{aligned} Q(y) &= \exists x \in \{a, b, c, d\} \left(((x^a \vee x^c) y^1 \vee x^d y^3) \wedge P(x) \right) = \\ &= \exists x \in \{a, b, c, d\} \left(((x^a \vee x^c) y^1 \vee x^d y^3) \wedge (x^a \vee x^b \vee x^c \vee x^d) \right) = y^1 \vee y^3. \end{aligned}$$

Оскільки $K_1(x, y), K_2(y, z), K(x, z)$ є прямокутні матриці, то з'єднання предикатів розглядається як добуток матриць:

$$K(x, z) = K_1(x, y) \cdot K_2(y, z) = \bigvee_{y \in N} (K_1(x, y) \wedge K_2(y, z)).$$

З урахуванням наявних процесів в системах здебільше кінцевий результат являє собою перетин усіх проміжних “продуктів” перетворень при взаємодії “система – система”, “система – внутрішнє середовище”, “система – зовнішнє середовище/об’єкт” – “зовнішнє середовище” і має вигляд n -го ступеню лінійних перетворень [1–5]:

$$\begin{aligned} Q^{(n)}(y) &= \bigwedge_{i=1}^n K_i Q(y), \text{ де } K_i = K = K(x, y)K(y, z); \\ P^{(n)}(y) &= \bigwedge_{i=1}^n K'_i P(x), \text{ де } K'_i = K' = K(x, y)K(y, z). \end{aligned} \quad (15)$$

Шуканий результат отримують при співпадінні вихідних даних на n -му та $(n-1)$ -му і наступних $(n+1)$ -му, $(n+2)$ -му і т.д. кроках.

Отже, стан системного об’єкта при наявності знань з імовірністю їх неточності і недостатності встановлюється завдяки ентропійній функції і аналізу невизначеностей. Кінцева комплексна оцінка стану об’єкта визначається за результатами аналізу впливу навколишнього середовища і досліджень перебігу процесів як наслідок ідентифікованих змін в системах. встановлення причино-наслідкової компоненти на об’єктивній основі. Відповідно до умов виконання лінійності функції співвідношення між наявною інформацією для ξ і результатами, отриманими чи визначеними, з характеристики системи η виду $F: P_\xi \rightarrow P_\eta$, при $S(\xi | \eta) \rightarrow 0$ приймають до роботи таке перетворення:

$$[F(P)](y) = \bigvee_{x \in \xi} (K(x, y)P(x)), \quad (16)$$

де $K(x, y)$ – предикат з $P_{\xi \times \eta}$ для будь-якого $y \in \eta$.

Для встановлення об'єктивної комплексної оцінки екологічності систем (КЕС) пропонується запровадити структурну і параметричну ідентифікацію рівноваги систем і необоротних процесів, визначених самоорганізацією об'єкта.

В основу інформаційно-методичного забезпечення покладена розробка бази знань на основі існуючих даних про систему, додаткову інформацію, отриману в результаті усунення невизначеності при низькому рівні дослідження стану складної системи. Нові дані одержують як остаточний результат послідовного зниження невизначеності детального вивчення системи за схемою “стан₁ – процес – стан₂”, застосовуючи стан до системного утворення “об'єкт – навколишнє середовище”, виходячи з поетапної реалізації комплексу методичного та інформаційного забезпечення оцінки рівня якості (екологічної безпеки) складних систем [1, 2, 5].

Знання-орієнтована інформаційна система складається з трьох компонент: інтерфейс користувача, знання-орієнтована система та база знань (рис. 7).

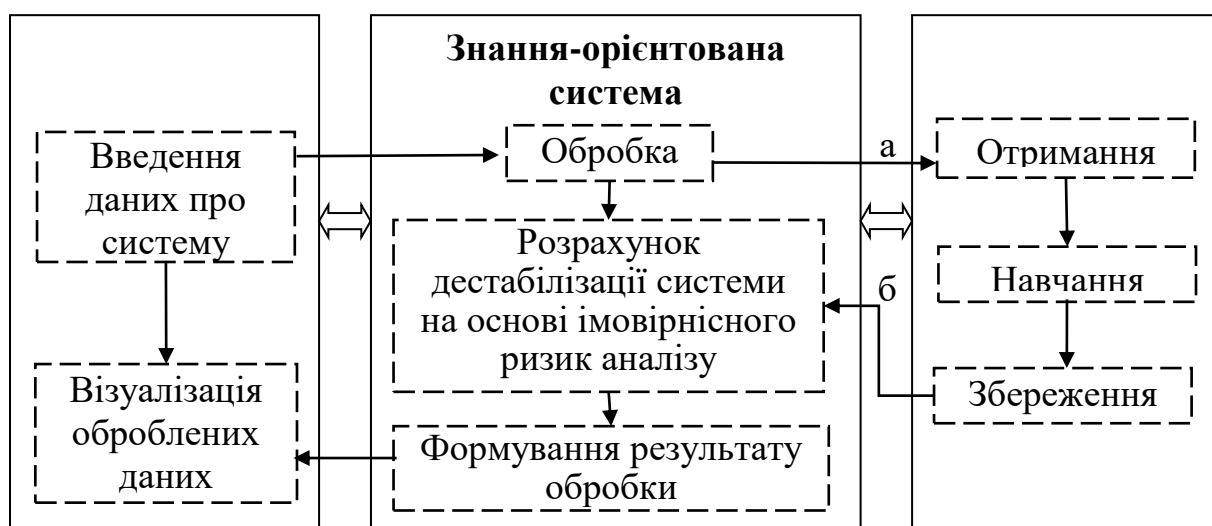


Рис. 7. Схема знання-орієнтованої інформаційної системи

Для використання даної системи користувач через зрозумілий інтерфейс вводить дані, які передаються в систему розрахунків (рис. 8). Вхідна інформація проходить обробку й зберігається в базі знань, в якій відбувається навчання системи й збереження знань відповідно до отриманих даних (рис. 7 а) і передача їх (рис. 7 б). Далі відбувається формування отриманих результатів обробки у звіт і візуалізація його користувачеві.

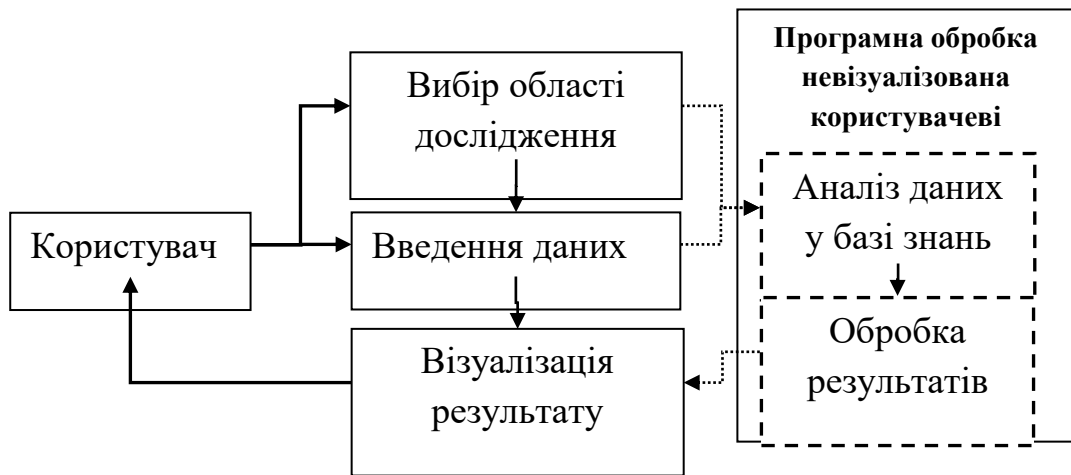


Рис. 8. Функціональна модель інтерфейсу користувача

У блоці “база знань” (див. рис. 7) чи “аналіз даних у базі знань” (див. рис. 8) відбувається перевірка отриманих даних, якщо система має нечіткі вхідні дані, то для розрахунків дестабілізації системи відбувається співставлення з уже існуючими даними про стан системи (рис. 9).

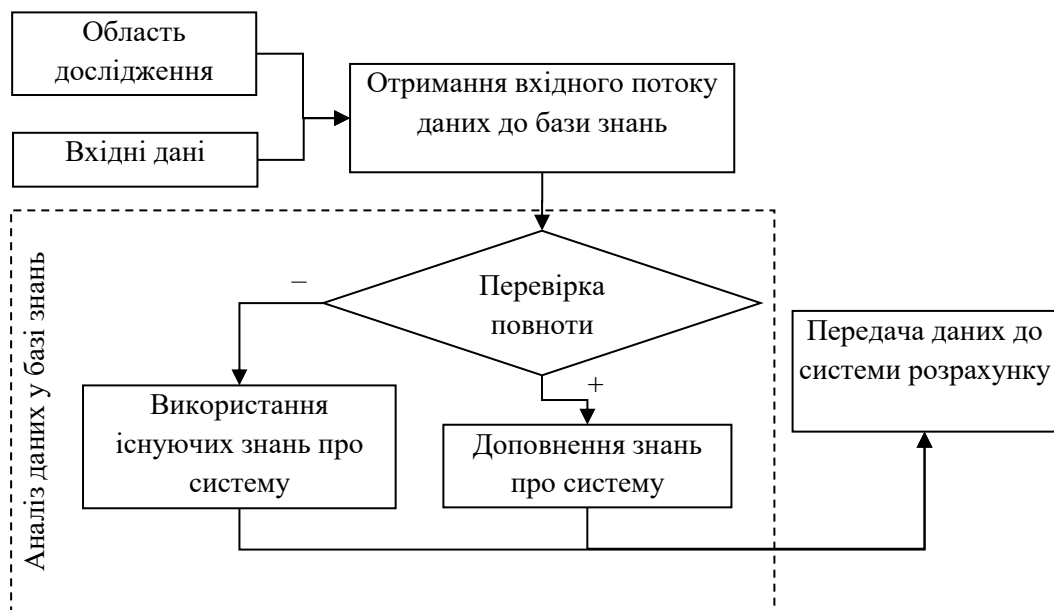


Рис. 9. Аналіз вхідного потоку даних у базі знань

Розв’язання практичних задач екологічної безпеки у сфері оперативного управління техногенними об’єктами розглянуті на прикладі модуля очищення забруднених відходів у вигляді шламових вод діючої збагачувальної фабрики ЦОФ “Кураховская” і установки з Perezбагачення шламів зі шламонакопичувача.

Основні питання аналізу з оцінки якості. Виробнича діяльність з видобутку, збагачення природної сировини (руди, вугілля та ін.) і її подальшої

переробки (одержання коксу, чавуну, сталі, кольорових металів та ін.) супроводжуються утворенням значних кількостей техногенних відходів, у тому числі в рідкому виді в шламонакопичувачах. Нагромадження відходів призводить до екологічних і соціальних проблем – забруднення території, зупинка виробництва. Надати розрахунки кінетики осадження завислих речовин у зразках шламових вод за умови змін технологічних процесів – осадження при седиментації, використання мішалки (табл. 1–2).

Таблиця 1

Розрахунок кінетики осаду для зразка №2 при $C=70$ г/л, природне осадження

Час, хв	Висота освітленого, мм	Висота згущеного, мм	Згущене в %	Швидкість осадження, мм/сек
0	0	262	100	
5	4,5	257,5	98,2824	0,0150
10	12	250	95,4198	0,0250
15	19	243	92,7481	0,0233
20	26,5	235,5	89,8855	0,0250
25	34	228	87,0229	0,0250
30	41	221	84,3511	0,0233
35	48	214	81,6794	0,0233
40	54,5	207,5	79,1985	0,0217
45	61	201	76,7176	0,0217
50	67,5	194,5	74,2366	0,0217
55	73,5	188,5	71,9466	0,0200
60	80	182	69,4656	0,0217
65	86,5	175,5	66,9847	0,0217
70	92,5	169,5	64,6947	0,0200
75	98,5	163,5	62,4046	0,0200
80	104,5	157,5	60,1145	0,0200
85	111	151	57,6336	0,0217
90	116,5	145,5	55,5344	0,0183
95	122,5	139,5	53,2443	0,0200
100	128,5	133,5	50,9542	0,0200
105	134,5	127,5	48,6641	0,0200
960	207	55	20,9924	0,0014

Таблиця 2

Розрахунок кінетики осаду для зразка №2 при С=70 г/л, після впливу мішалки

Час, хв	Висота освітленого, мм	Висота згущеного, мм	Згущене в %	Швидкість осадження, мм/сек
0	0	92	100	
10	10,5	81,5	88,5870	0,0175
20	20,5	71,5	77,7174	0,0167
25	26	66	71,7391	0,0183
30	31	61	66,3043	0,0167
40	40,5	51,5	55,9783	0,0158
50	49,5	42,5	46,1957	0,015
55	51	41	44,5652	0,005
65	53	39	42,3913	0,0033
70	54	38	41,3043	0,0033
80	56	36	39,1304	0,0033
90	57	35	38,0435	0,0017
95	57,5	34,5	37,5	0,0017
105	58,5	33,5	36,4130	0,0017

Розв'язання завдання дослідження. Для визначення оптимального часу осадження завислих речовин у досліджених зразках необхідно встановити міру невідповідності початкових даних вимірювань цільовим результатам за ентропійною функцією виду:

$$S = - \frac{L}{\sum_{i=1}^n L_i} \log_2 \frac{L}{\sum_{i=1}^n L_i}, \quad (17)$$

де L – значення характеристики розрахунку;

n – загальна кількість характеристик.

Отримані результати для кожної ентропійної характеристики аналізують відповідно до оцінки їх входження у встановлені відрізки, де система досягає свого максимуму та мінімуму:

$$[\min; \min + \Delta S \cdot 0,38], [\max - \Delta S \cdot 0,38; \max], \quad (18)$$

де $\Delta S = S_{\max} - S_{\min}$ – довжина відрізка аналізованого розподілу значень ентропії.

Якщо отримане значення ентропії S (див. вираз (17)) потрапляє до зазначеного інтервалу (18), то мають оптимальний результат за правилом:

$$K = \begin{cases} 1, & S \in [a, b]; \\ 0, & S \notin [a, b], \end{cases}$$

де $[a, b]$ – інтервал для max/min ентропії (див. вираз (18)).

Так як у системі необхідно провести градування за декількома параметрами, то доцільно ввести кон'юнкцію для виконання всіх обмежень:

$$t^{\min} \wedge H_o^{\max} \wedge H_3^{\min} = 1,$$

де t – час кінетики осаду, хв.;

H_o – висота освітленого розчину, мм;

H_3 – висота згущеного осаду розчину, мм.

Для автоматизації розрахунків за даними експериментальних досліджень запроваджено програмне забезпечення настільного користування, розробленого у Microsoft Visual Studio 2005 (рис. 10, 11), та для мобільного додатку орієнтованого на операційну систему Android [1, 4, 5].

```

for (int i = 0; i < vhn; i++)
{
    Hm += Hm298[i] * m[i];
    Sm += Sm298[i] * m[i];
    HmT1 += HmT500[i] * m[i];
    SmT1 += SmT500[i] * m[i];
    HmT2 += HmT1000[i] * m[i];
    SmT2 += SmT1000[i] * m[i];
}
for (int i = 0; i < vihn; i++)
{
    Hn += Hn298[i] * n[i];
    Sn += Sn298[i] * n[i];
    HnT1 += HnT500[i] * n[i];
}

```

```

Введите количество элементов при входе:
1
Введите количество элементов при выходе:
2
m[0]=1
n[0]=1
n[1]=1
Введите начальные данные:
Hm298[0]=52,5
Hn298[0]=38,2
Hm298[1]=217,98
Sm298[0]=0,2193
Sn298[0]=0,2305
Sn298[1]=0,1146
Для T=500
HmT298[0]=23,290
HnT298[0]=21,2
HnT298[1]=10,393
SmT298[0]=0,279343
SnT298[0]=0,24612
SnT298[1]=0,125353
для T=1000
HmT298[0]=67,576
HnT298[0]=61,2
HnT298[1]=20,786
SmT298[0]=0,339186
SnT298[0]=0,300303
SnT298[1]=0,139761

Решение:
deltaH298=203,68
deltaS298=0,126
deltaG298=166,192
deltaGT<500>=103,018
deltaGT<1000>=-8,588

```

Рис. 10. Фрагмент програмного розрахунку визначення оптимального часу осадження завислих речовин у шламових водах

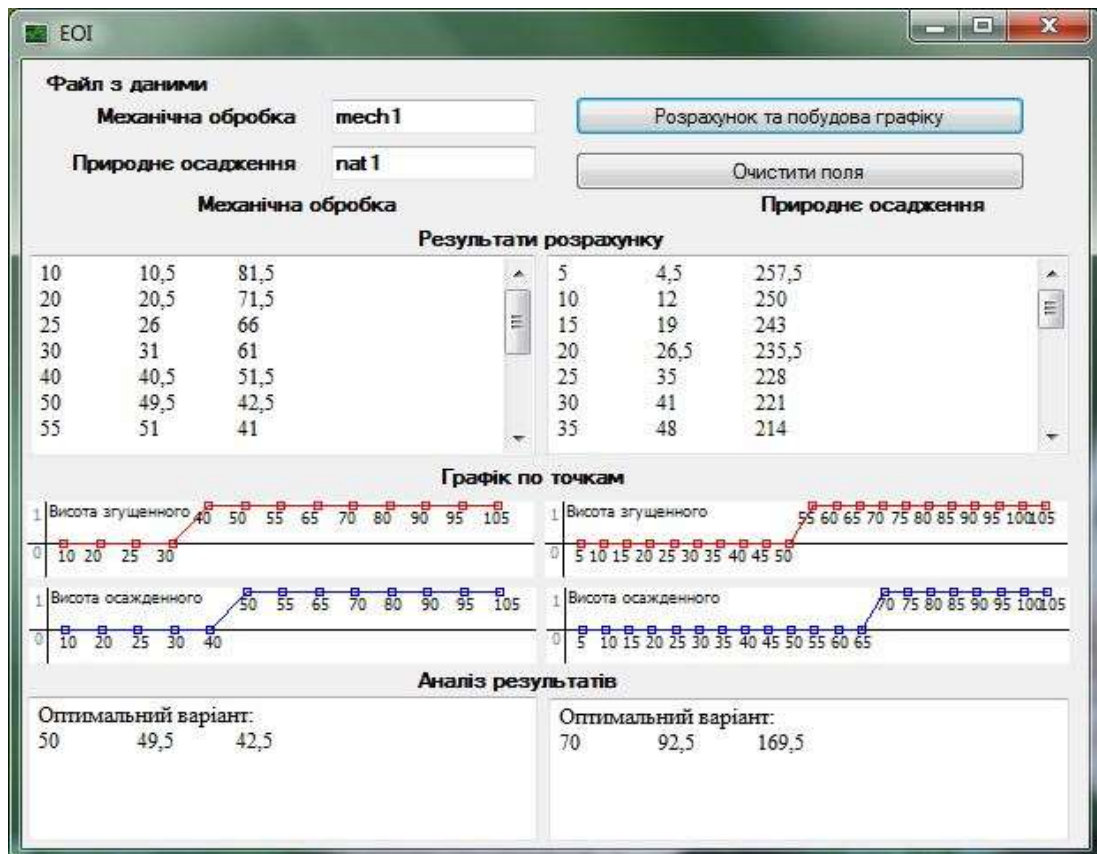


Рис. 11. Програмна оцінка оптимальних точок процесу осадження

Програмний продукт (див. рис. 11) використовується на стільниковому комп'ютері в офф-лайн режимі. На вхід програми подаються два файли (розширення `.txt`) з початковими даними вимірювань часу осадження та результатів експерименту, за якими відбуваються розрахунки стану очищення досліджених зразків шламових вод.

Для безперервного контролю безпеки виробничих процесів та оперативного реагування на небезпечні ситуації на промислових об'єктах при взаємодії "система – навколишнє середовище" запропоновано програмне забезпечення у вигляді мобільного додатку.

Програмний продукт орієнтовано на користувачів гаджетів з операційною системою Android. Вибір такої операційної системи зумовлено великою розповсюдженістю електронних пристроїв з операційною системою Android й можливістю оперативного визначення оцінки стану складних природно-техногенних утворень. Перевагою такої розробки є можливість користувача вводити нові дані, що передаються до серверу та зберігаються у базі даних. Надалі ці дані можна накопичувати, видалити або відредагувати. Після отримання всіх даних проводяться розрахунки відповідно до технічного завдання. Робота з наданим програмним продуктом можлива з будь-якого

пристрою з операційною системою Android та можливістю доступу до мережі Інтернет (рис. 12).



Рис. 12. Принцип роботи програмного продукту оперативного контролю екологічної безпеки

Розробка програмного продукту за операційною системою Android дозволяє отримати кількісні розрахунки відповідності виробничих процесів цільовій функціональності; оцінки стану територіальних об'єктів відповідно до прийнятного рівня екологічної безпеки (рис. 13).

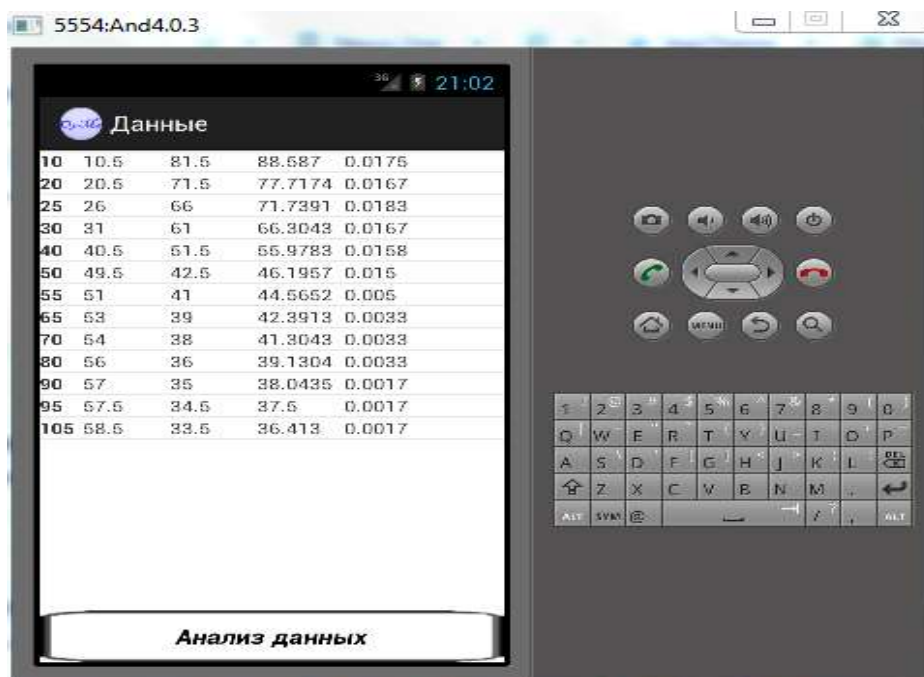


Рис. 13. Визначення стану процесу осадження за даними експерименту

Висновок

Для неінтегрованої системи при визначенні динаміки переходять від понять траєкторії до термодинамічного визначення імовірності (1.1–1.5). Стан

системи аналізують за поняттями стійкості та дестабілізації, розглядаючи довільні процеси з максимізацією ентропії і досягнення точки біфуркації, які приводять до позитивних і небажаних ефектів.

Невизначеність при виникненні деструктивних елементів “система–НС” усувається послідовним її розв’язанням на основі встановлення відхилень у цільових відповідностях, що не дозволяє в кінцевому стані досягти рівноваги за оціночними аспектами – *система, статистичний стан; фактори функціональності і взаємодії; процеси взаємодії й адаптації, рівноважний стан системи.*

Для оцінки стану системного об’єкта при наявності різної моніторингової інформації з не зв’язаних чи слабо зв’язаних відомостей імовірнісний підхід є практичним: дозволені змішування ймовірностей і частот; утворення математичного очікування для ентропії $MS_w(y/x)$ та інформації $MI_w(x:y)$; істинна міра кількості інформації є осереднене значення $I_w(x,y)$, характеризуючи щільність зв’язку між системами ξ і η параметрами стану x , y симетричним чином: $S_w(x/x) = 0$, $I_w(x:x) = S_w(x)$, $I_w(x,y) = MI_w(x:y) = MI_w(y:x)$, що є функціями від x .

Критерієм оптимальності функціонування системного об’єкта є збереження сталості, рівноваги і стаціонарності за умови $\Delta S \rightarrow \min \rightarrow 0$ і стан характеризується максимумом умовної ентропії $S = \max$ з погляду його варіації для імовірної реалізації системного утворення. Ентропійно-інформаційне оцінювання відповідності системи передбачає встановлення такого значення функції стану системи за простою ентропією Колмогорова $S(x) \leq i + C$, яка дозволяє для будь-якого i за рахунок довільних процесів, буферності системи досягти рівноваги і умов зменшення ентропії $S(x) \leq i$.

Таким чином, на основі запропонованої ентропійної оцінки якості складних систем і процесів в них, інформаційно-програмної підтримки вимірювально-розрахункових операцій за наданим методичним забезпеченням створена об’єктивна контрольна система оцінки рівня екологічної безпеки складних об’єктів "система – навколишнє середовище".

ЛІТЕРАТУРА

1. М. М. Козуля, «Комплексна інформаційно-системна оцінка рівня екологічної безпеки складних об'єктів», дис. канд. наук., Сум. держ. ун-т, Суми, 2017.

2. Т. В. Козуля, *Основы методологии комплексной оценки экологичности системных объектов (Теоретико-практические основы методологии комплексной оценки экологичности территориальных и объектовых систем*, Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2014.

3. T. Kozulia, and M. Kozulia, “Determining the object structure of ecological and economic research and knowledge base for decision support”, *Problems of atomic science and technology, Series: Nuclear Physics Investigations (68)*, N3(109), pp.85–89, 2017.

4. T. V. Kozulia, and M. M. Kozulia, “Integrated information system assessment of complex objects safety level”, *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*, №55(1276), с.39-45, Х.: НТУ "ХПІ", 2017.

5. Т. В. Козуля, Н. В. Шаронова, та М. М. Козуля, “Формування знання-орієнтованого інформаційного забезпечення досліджень складних систем”, *Системні дослідження та інформаційні технології*, №3, с. 63–72, 2017.

3.4. Стратегія рішень надання професійної медичної допомоги в районах техногенних катастроф на базі високих технологій

Вступ та постановка задачі.

Сучасний період розвитку суспільства характеризується потужним впливом на нього високих технологій, які проникли в усі сфери людської діяльності:

- забезпечують інформаційну взаємодію людей, сприяють поширенню масової інформації;

- інформаційні технології швидко асимілюються культурою суспільства, знімають багато соціальних, побутових та виробничих проблем, розширюють внутрішні та міжнародні економічні та культурні зв'язки, впливають на міграцію населення по планеті;

- оптимізують і автоматизують інформаційні процеси в період становлення інформаційного суспільства;

- грають ключову роль в процесах отримання, накопичення, поширення нових знань [1];

- забезпечують поширення інформаційних потоків в суспільстві, утворюючи глобальний інформаційний простір.

Вони швидко перетворилися на життєво-важливий стимул розвитку не тільки світової економіки, а й інших сфер людської діяльності.

Важко знайти сферу, в якій зараз не використовуються інформаційні технології. Парк високих технологій є найбільш перспективною стратегією розвитку економічного потенціалу будь-якої країни та потребує можливостей розвитку таких нових наукоємних напрямків, які тісно взаємодіють з ІТ-сферою [2]. Лідерами галузі з впровадження комп'ютерних технологій є архітектура (архітектурне проектування), машинобудування, освіта, банківська сфера і, що з запізненням увійшла – медицина.

Аварії катастрофи і стихійні лиха, військові дії, що відбувалися в останні роки в світі, супроводжувалися значними людськими жертвами, змусили переглянути велику кількість, що стали традиційними, підходів до організації та надання екстреної медичної допомоги при надзвичайних ситуаціях. Ці ситуації і активізували питання про реорганізацію медичної допомоги водним транспортом. Що змусило багато країн, модернізувати госпітальні-поліклінічні суда.

До госпітальних судів пред'являються особливі міжнародні вимоги, котрі гарантують, що вони не будуть вражені будь-ким як ворожі. Зокрема, подібні суда не повинні бути використані у військових цілях і повинні мати чітке позначення того, що воно саме госпітальне судно (зазвичай використовується білий прапор з червоним хрестом). Крім того, подібні суда і кораблі не повинні втручатися в бойові дії або перешкоджати ворожим бойовим судам. І найголовніше – судно має надати медичну допомогу представникам будь-якої нації. Такі суда оснащені хірургічним відділенням з операційними залами, реанімаційним, терапевтичним і прийомним відділеннями, відділенням інтенсивної терапії, палатою для хворих, рентгенівським кабінетом, діагностичним центром, обладнанням ультразвукового дослідження, аптекою, поліклінікою та медичним складом. Крім госпітальних судів для зон стихійних лих, у багатьох країнах вдаються до допомоги плавучих поліклінік для жителів віддалених населених пунктів, які не можуть не тільки потрапити на прийом до вузьких спеціалістів, а й пройти необхідне обстеження на сучасному медичному обладнанні.

Дорогоцінний досвід екіпажів медичних судів купувався, рятуючи людей в таких районах як Перська затока, Сомалі і Філіппіни, де сильні вітри, піщані бурі та повені доставляють жителям багато бід. В таких погодних умовах дуже багато пилу і бруду, які несприятливо позначаються на стерильній чистоті в стаціонарному лікувальному закладі, особливо в операційних кімнатах, а маючи плавучий госпіталь можна доставляти людей прямо із зони лиха, проводити санітарну обробку і поміщати постраждалих в абсолютно нормальні умови, які існують в будь-якій лікарні кожного великого міста тим самим знижуючи ризик інфекції, а також скорочуючи реабілітаційний період. Також таке медичне судно може легко передислокуватися, чого не в змозі зробити наземні медичні установи.

Підвищення ефективності медичного обслуговування на госпітально-поліклінічних судах в сучасних умовах неможливе без використання телекомунікаційних медичних систем. Ефективність роботи систем безпосередньо залежить від інтеграції різноманітних медичних ресурсів в глобальні системи. Цим проблемам присвячено ряд робіт спеціального характеру: Брок П.Е., Григор'єв А.І., Корбінській Б.А., Стародубов В.І., Орлов В.І., Наумов В.І., та інші. Значний внесок у розвиток технологій і нормативної бази зроблено зарубіжними авторами.

Метою роботи є аналіз розвитку принципів побудови вискоефективних структур швидкодійних аналого–цифрових перетворювачів високочастотних

сигналів, що дозволяють виконувати перетворення сигналів у смузі високих частот і характеризуються широким динамічним діапазоном, для прискореного розвитку концепції надання медичної допомоги з використанням інформології (технологій рецепції, телекомунікації, маршрутизації і передачі інформації з використанням нейро-рецепторних, дротових, бездротових, телерадіо, супутникових та інших каналів зв'язку), як нових принципів при наданні медичних послуг, виключаючи помилкові дії, використовуючи концепцію парку високих технологій.

Для всебічного аналізу впровадження новітніх технологій в медицині необхідний опис стандартів в сучасних медичних інформаційних системах, які є засобом вирішення багатьох проблем.

Час автономних медичних комп'ютерних систем, які створюються окремими медичними підрозділами для вирішення приватних завдань, відходить у минуле. Настав період телекомунікацій – період інтеграції різноманітних медичних ресурсів в глобальні системи. Створення сучасних інформаційних систем і інтеграція в них є найбільш складними завданнями, що пов'язані з інструментами, відмінностями архітектур, різноманітним форматом даних в глобальних мережах. З цієї причини виключно актуальним видається завдання виробітку, не пов'язаного з конкретними платформами угод, стандартів про способи структуризації та передачі медичної інформації.

Полегшення впровадження в медицину сучасних інформаційних технологій: використовуючи програмне забезпечення, що підтримує єдиний стандарт, медичні установи отримують можливість поетапного впровадження інформаційних ресурсів в системи великого масштабу.

Як показує практика програмне забезпечення, що підтримує стандарти, довгий час не старіє, легко модернізується і оновлюється, і, як показують дослідження, працює стабільніше. До того ж воно дешевше, так як введення стандартів забезпечує конкуренцію на ринку програмного забезпечення.

На сучасному етапі серед розробників медичних стандартів, виділяють двох лідерів: стандарти, які претендують на роль широкого міжнародного використання – HL7 (Health Level Seven) та CEN/TC 251 (Comité Européen de Normalisation / Comité 251).

HL7, американська громадська організація, розробляє найбільш широко поширений в Північній Америці стандарт для обміну медичними електронними даними, в той час як комітет CEN / TC 251 працює на європейському просторі і орієнтований на розробку медичних інформаційних стандартів для Європи. Стандарти HL7 і CEN / TC 251 є основними на американському і

європейському інформаційному медичному просторі, що становить на сьогоднішній день 80% світового. На сьогоднішній день ці стандарти не сумісні, але було організовано кілька зустрічей фахівців з HL7 і CEN / TC 251 з метою більш тісної співпраці між цими організаціями і розробки сумісних стандартів для Європи і Америки.

Організація HL7 (Health Level Seven) (<http://www.HL7.org>) була заснована в 1987 році, щоб розвинути стандарти для електронного обміну клінічною, фінансовою та адміністративною інформацією серед незалежних комп'ютерних медичних систем, до яких відносяться: стаціонарні інформаційні системи, клінічні лабораторні системи і інші.

Стандарт стали підтримувати більш ніж 1,500 лікарень, професійних товариств, промислових організацій охорони здоров'я, включаючи майже всіх головних консультантів за системами охорони здоров'я та продавців в США. Він також використовується в Австралії, Австрії, Німеччині, Голландії, Ізраїлі, Японії, Нової Зеландії та Великобританії.

У червні 1994 Американський Національний Інститут Стандартів (ANSI) оголосив HL7 ANSI-акредитованим стандартом. HL7 випустив четверту версію стандарту (Версія 2.2) в грудні 1994, у 2000 році з'явилася версія 2.4. Поточна версія стандарту 3.0 знаходиться на стадії затвердження комітетом.

Термін "Level 7" відноситься до верхнього рівня моделі "Взаємодії відкритих систем" (Open System Interconnection (OSI)) Міжнародної Організації зі стандартів ISO. Це не означає, що стандарт повністю відповідає елементам сьомого рівня моделі OSI, і він не спирається на специфікації нижніх рівнів, схвалені ISO. HL7, але, відповідає концептуальному визначенню інтерфейсу додатків, відповідному сьомого рівня цієї моделі. Він включає визначення і структуру переданих даних, синхронізацію обміну і зв'язку додатків, виявлення і обробку помилок передачі повідомлень.

Стандарт в даний час адресує інтерфейси різних медичних систем, які посилають або отримують міграційні дані про пацієнта: прийом / реєстрація, виписка або напрямок (ADT-дані) і різні запити, здійснюють планування ресурсів, замовлення, фіксування результатів, клінічні спостереження, розрахунки за електроенергію, збереження і зміну інформації, медичні записи і контроль за пацієнтом.

Європейський комітет CEN / TC 251 (Comité Européen de Normalisation / Comité 251) (<http://www.Centc251.org>) по розробці і впровадженню стандартів обміну даними між незалежними комп'ютерними системами в медицині утворений в 1990 р за рішенням Європейської комісії з стандартизації і має

спектр розробок стандартів, що охоплює всі сторони медичної інформатики. CEN / TC 251 розробляє вимоги до медичних інформаційних структур, щоб забезпечити:

1. Внутрішній обмін даними між пристроями і інформаційними системами.

2. Інтеграцію даних для мультимедійного подання.

3. Зовнішній обмін даними між відділами та іншими легальними користувачами в будь-якому іншому медичному секторі, а так само розробляє вимоги щодо збереження, безпеки передачі і зберігання інформації.

До комітету входять 7 робочих груп, в роботі яких беруть участь представники країн Європейського Співтовариства:

група 1 – інформаційні моделі і формати даних в охороні здоров'я;

група 2 – термінологія, семантика і бази знань в охороні здоров'я;

група 3 – комунікації і передача повідомлень в охороні здоров'я;

група 4 – медичні зображення і мультимедіа;

група 5 – передача даних між медичними пристроями;

група 6 – захист, забезпечення конфіденційності та збереження інформації в охороні здоров'я;

група 7 – обмін даними зі змінними пристроями (включаючи магнітні картки).

Престандарт ENV 13606 “Передача електронних медичних звітів” запропонований на розгляд робочою групою WG1. Стандарти, що розробляються комітетом CEN / TC 251, схвалені Міжнародною Організацією зі Стандартизації (ISO) [3].

Стандарт комітету CEN / TC 251 орієнтований на Австрію, Бельгію, Чехію, Данію, Фінляндію, Францію, Німеччину, Грецію, Ісландію, Ірландію, Італію, Люксембург, Мальту, Нідерланди, Норвегію, Португалію, Іспанію, Швецію, Швейцарію та Великобританію.

Процес розробки сучасних стандартів полягає не в фіксації існуючих, сформованих способів структурування медичної інформації, а являє собою систематичний процес опрацювання всього кола пов'язаних питань телемедицини – від фази вироблення вимог до фази реалізації. При цьому синергетика розробки функціональних стандартів повинна брати до уваги такі аспекти, як сумісність, якість, час реалізації стандарту, наявність в мережі різноманітних платформ і додатків, мовних відмінностей.

Найбільш високий інтерес в системах стандартів HL7 і CEN / TC251 представляють підходи до розробки структури повідомлень – HL7

Структурування Повідомлень (Message Development) і CEN TC251 CR12587. За пропозицією HL7, з яким принципово погодився комітет CEN TC251, розробка стандартів повинна включати три основних фази:

- вироблення вимог;
- аналіз;
- реалізація.

У свою чергу кожна фаза може поділятися на етапи. Кількість етапів може залежати від складності предметної області, але в цілому в фазі аналізу можна виділити:

- функціональний аналіз;
- інформаційний аналіз.

У фазі реалізації можна виділити етапи:

- формалізація взаємодії;
- формалізація повідомлень;
- стандартизація повідомлень.

При переході від питання програмного забезпечення систем до питань технічної підтримки, не можна не звернути увагу на цілі медичних інтегрованих інформаційних систем, в яких процеси телеконсультування і теленавчання нерозривно пов'язані між собою, так як результатом телесеансу є підтримка в прийнятті клінічного рішення лікуючим доктором і носить освітній характер при виникненні аналогічної ситуації в майбутньому. Дистанційне навчання медичних працівників активно використовується у багатьох країнах, хоча про її форми ефективності тривають дискусії. Це пов'язано з аналізом позитивних і негативних сторін теленавчання. Одним з найбільш перспективних напрямків електронної медицини на сучасному етапі є мобільна медицина. Йдеться про рішення, при реалізації яких використовуються мобільні пристрої (телефони, смартфони, планшети, гаджети для фітнесу і підтримки здорового способу життя), медичні прилади, придатні для амбулаторного використання і вдома (електрокардіографи, тонометри, глюкометри), і різні технології бездротового зв'язку, що дозволяють отримати і дистанційно передати лікарям різні показники здоров'я людини. Історія впровадження телекомунікаційних технологій в охорону здоров'я нерозривно пов'язана з прогресом розвитку телемедицини. На даний момент, існує не тільки необхідність впровадження інформатизації медичної галузі. Це продиктовано тим, що є наявність великих авторитетних медичних науково-практичних центрів, лікувально-профілактичних установ, закладів вищої та середньої освіти, достатнього поширення комп'ютерних і телекомунікаційних

технологій, готовність фахівців. Проведена велика робота з інформатизації галузі, розроблені і впроваджені автоматизовані системи обробки інформації, які функціонують на національних рівнях. У всіх лікувальних закладах функціонує інформаційно-аналітична система. Розроблено і впроваджено автоматизовані інформаційно-управлінські системи. При організації надання медичної допомоги, на думку багатьох фахівців, пріоритетним напрямком є первинна медична допомога.

У зв'язку з цим прискорене впровадження інформаційних технологій в роботу амбулаторно-поліклінічних організацій дозволить значно поліпшити медичне обслуговування.

Дані системи дозволяють проводити телеконсультації між фахівцями закладів охорони здоров'я та провідними фахівцями організацій по рентгенологічним, ультразвуковим і цитологічним дослідженням, вирішувати комплексно питання постановки діагнозу пацієнтам в складних випадках.

Ці системи не визначають порядок взаємодії всередині однієї медичної організації, механізм проведення телеконсультування між амбулаторією лікаря загальної практики і фахівцями.

Використання інформаційно-управлінських систем можливо в зонах технічно обладнаних, але дуже часто зони стихійних лих, деякий час, залишаються без зв'язку. Для таких випадків необхідно, при створенні системи, передбачити автономність роботи. Ця опція в системі потрібна для докторів на самих госпітальних судах і плавучих поліклініках, які працюють в екстремальних умовах.

Так як напрям підготовки у докторів різний, вони можуть отримувати консультації колег, невихід з кабінетів і операційних, з подальшою обробкою, спільної роботи і зберігання.

Доктор в процесі проведення діагностики має можливість порівняти поточні результати діагностики і раніше записані результати для оцінки динаміки захворювання, а також проконсультувати іншого лікаря, який проводить діагностику в іншому цифровому діагностичному кабінеті. Не можна забувати, що системи також призначені для подальшого використання технологічних карт і навігаційних систем процесів діагностики та лікування.

Сучасне високотехнологічне обладнання в операційних блоках на госпітальних судах вимагає спеціального підходу для його конфігурації і структуризації робочого процесу персоналу, який його використовує.

Запис, обробка, передача та архівація медичної інформації та візуалізації вже стали абсолютно необхідними в зв'язку зі стрімким розвитком

малоінвазивної хірургії та інших нових медичних технологій, а також застосуванням все більш складних інструментів.

До того ж, посилюються вимоги до якості наданої медичної допомоги, тому медичні служби повинні приділяти цьому більше уваги, що також збільшує необхідність відстеження і контролю процесів в операційній.

Однією з найважливіших завдань систем інтеграції є поєднання всього обладнання в операційній, щоб підвищити ефективність роботи лікарів і їх команди.

Сучасні системи для інтеграції операційних з відкритою архітектурою, це системи, які дозволяють вибрати оптимальну конфігурацію обладнання та раціонально планувати бюджет проекту, що дуже важливо, коли в світі не припиняється фінансова криза.

Системи інтеграції є рішення на основі мультимедійних платформ, і виводять на якісно новий рівень ергономіку пристроїв для розподілу, відображення, передачі і зберігання хірургічних відео і даних пацієнта.

Вже високо оцінили переваги таких систем, включаючи централізоване багатофункціональне управління, в тому числі для контролю такого важливого обладнання, як хірургічні світильники і камери.

Завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу на основі сенсорного екрану, легко дозволяє користувачам:

- імпорт історії хвороби пацієнта / дослідження з сервера;
- візуалізацію зображень у віконному або повноекранному режимі;
- редагувати яскравість і контраст зображення;
- наближати, віддаляти або переміщати зображення;
- вимірювати довжину або кут поверхонь безпосередньо на зображеннях;
- змінювати розташування зображення в радіологічної або хірургічної орієнтації;
- відтворення серій зображень, використовуючи режим мульти-площинний реконструкції;
- захоплення і розподіл відео на кілька хірургічних або настінних моніторів;
- запис хірургічних процедур з простою і зрозумілою синхронізацією; обмін даними з віддаленими хірургами або іншими медичними працівниками;
- архів відео і зображень в файлах на сервері.

Одним з численних переваг таких систем є їх повна сумісність з усіма медичними пристроями мають відеосигнали, незалежно від спеціалізації або виробника.

Крім того, модульна конструкція легко забезпечує масштабованість, заснована на умовах, що змінюються потреби і майбутні інвестиції в нове обладнання.

Це сприяє рентабельному переходу від старих пристроїв до сучасних високотехнологічних відео стандартів. Весь спектр таких систем сумісний з HD-зображеннями дозволом до 1080p, а також, завдяки спеціальним перехідникам для 3D і 4K Ultra-HD.

Спеціальний енкодер SmartConverter приєднує будь-який мобільний пристрій в операційній, а система автоматично визначає підключене джерело і дозволяє попередньо візуалізувати відеосигнал.

В даний час неможливо уявити, госпітальні судна не обладнані цифровими операційними залами.

Основна відмінність цифрових операційних залів, підключених до систем телемедицини, від звичайних, існуючих до теперішнього часу, полягає в тому, що вся інформація, яку використовує доктор при проведенні хірургічних операцій, перетворюється в цифровий вигляд, з усіма перевагами обробки, реєстрації, зберігання та передачі різних видів медичної інформації.

Під медичною інформацією розуміється багатоканальна відео інформація (від відеокамери операційного поля, від відеокамери загального вигляду операційного залу, від відеокамер ендоскопа, операційного мікроскопа, і т.д., тобто від всіх видів медичного обладнання, що має аналогові або цифрові відеовиходи), аудіо інформація, дані від медичних приладів (від монітора пацієнта, апарату штучної вентиляції легенів, апарату штучного кровообігу, станції інфузійної терапії, і т.д., тобто від всіх медичних приладів, що мають виходи для передачі даних) і від інженерних приладів і обладнання (систем вентиляції та кондиціонування, систем подачі газів, датчиків температури, вологості, вібрації і т.д.). До комплексів систем телемедицини для операційних підключається все медичне обладнання, яке розташоване в цифровому операційному залі, і яке має інтерфейси обміну інформацією, зокрема: відеокамера показу операційного поля (або кілька відеокамер), в тому числі з дистанційним управлінням, керована відеокамера загального вигляду операційного залу, ендоскоп, лапароскоп, операційний мікроскоп, налобний мікроскоп, ангіографічестая установка, рентгенівський апарат, апарат ультразвукового дослідження (якщо операція проводиться під контролем цих апаратів), мікрофони і аудіо-гарнітури хірургів та іншого медичного персоналу, анестезіологічне обладнання, монітор пацієнта, станція інфузійної терапії, апарат штучного кровообігу і т.д. Всі види медичної інформації

перетворюються в цифровий вигляд, реєструються, обробляються і транслюються.

Принцип побудови і функціонування одного з інтегрованих операційних залів.

Що таке “інтегрований” операційний зал? Це означає, що всі технології, що використовуються всередині операційної – системи інформації про пацієнта, аудіо, відео, освітлення та медичне обладнання, функціонально пов’язані, що дозволяє хірургу управляти всіма цими пристроями з одного сенсорного екрану.

Але спочатку прочитаємо слова професіоналів про інтегровані медичні операційні зали.

На даний момент, інновації для інтервенційних процедур розглядаються як особливо важливі. Для сучасних хірургічних процедур “інтегрований” підхід дуже затребуваний, Йоахім Шефер, керуючий директор, Messe Düsseldorf, Düsseldorf, місце проведення MEDICA – найбільшої конференції в сфері медичного обладнання.

“Інтеграція всіх аспектів управління в операційній через простий користувальницький інтерфейс з швидким доступом до управління таким обладнанням, як наприклад хірургічні світильники і інсуфлятор, допоможе стандартизувати робочий процес і забезпечити більше догляду за пацієнтами під час операції” (Девід Дельгадо, менеджер по продукції, Olympus).

“Основною рушійною силою для нових технологій інтегрованих операційних є мінімально інвазивна хірургія. При виконанні цих процедур за допомогою віддаленої камери / ендоскопа, лікарі можуть домогтися поліпшення результатів лікування пацієнтів з меншою кількістю ускладнень. Оскільки ці процедури стають все більш просунутими, у хірургів з’являється додаткова інформація і візуалізація, накладена на екранах. Розміри контролю і ступінь свободи буде збільшуватися, як і точність всіх вимірювань, включаючи глибину зображення” (Сем Глассенберг, засновник і генеральний директор, Level EX (чиказький розробник хірургічних навчальних програм)).

Роб Манн, генеральний директор Oasys, сказав: "Наскільки добре інтегрована операційна, залежить від використовуваної системи. Маршрутизація життєво важливих інформаційних функцій для відображення відео може йти або через розподільну систему, або безпосередньо з пристроєм збору даних, наприклад, ендоскопа або С-дуги, на хірургічний монітор, де операційна команда і лікар можуть її побачити. Де і яким чином зберігається інформація, також може відігравати велику різницю".

Зараз підійшли до розгляду організації медичного інтегрованого операційного залу.

Як мінімум один з медичних дисплеїв повинен мати функції Touch Screen. З даного дисплея можна перемикає різну медичну інформацію з одного дисплея на інший, так як це зручно докторам і іншому медичному персоналу. З цього ж дисплея можна управляти, при необхідності, світлом світильників і загальним світлом в операційному залі, столом пацієнта і іншим медичним обладнанням. На інших дисплеях відображається різна медична інформація, наприклад, на одному з них, власна медична інформація, а на іншому дисплеї – рентгено-радіологічне зображення з системи PACS або дані анамнезу пацієнта, або результати аналізу крові. Різна медична інформація може по-різному відображатися на різних дисплеях. Якщо в процесі операції доктора розташовуються один проти іншого, то перед кожним лікарем розташовується свій дисплей з однієї і тієї ж медичною інформацією – зображенням з відеокамери операційної лампи, отриманим під єдиним кутом зору.

В іншому випадку, коли операцію проводить доктор, з яким операційна бригада не має досвіду роботи, то один з дисплеїв, що відображає операційне поле, розміщується так, щоб асистенти або операційні сестри спостерігали за операційним полем і вчасно реагували на вимоги доктора, що оперує. Можливості перемикання процесів відображення різної медичної інформації між різними дисплеями задовольняють різними сценаріями проведення операцій. На дисплей, розташований на стіні операційного залу може виводитися інформація для дистанційного медичного навчання.

На основному світильнику розташована дистанційно керована камера для показу операційного поля. На стелі операційного залу розташовується купольна камера для спостереження і реєстрації процесів, що проходять в операційній.

Апаратно-програмний комплекс системи телемедицини встановлюється в передопераційному приміщенні і до нього за допомогою кабелів, перекинутих через отвори в консолях і кронштейнах, підключається все медичне обладнання та прилади операційного залу.

Все медичне обладнання та медичні дисплеї розміщуються на консолях і кронштейнах. Усередині консолей і кронштейнів розташовані кабелі живлення, інформаційні та відео кабелі, а також пристрої придушення спотворень і перехресних перешкод.

На одній консолі розташовується все необхідне для підключення анестезіологічного обладнання і монітора пацієнта. На другій консолі розташовується необхідне хірургічне обладнання, наприклад, ендоскоп. На

кронштейнах розміщуються медичні дисплеї, на яких здійснюється відображення різної медичної інформації та з яких може здійснюватися управління і контроль над роботою всього цифрового операційного залу на базі систем телемедицини.

Підвищення ефективності медичних інформаційних систем в сучасних умовах неможливе без використання в задачах перетворення неперервних сигналів аналого–цифрового перетворювача. Застосування методології цифрового оброблення сигналів у пристроях і засобах телекомунікації, які входять до складу медичних інформаційних систем призводить до використання їх в умовах роботи з широкосмуговими сигналами. Ефективність оброблення широкосмугових сигналів безпосередньо залежить від властивостей аналого–цифрових перетворювачів, що використовуються. Це обумовлює особливу актуальність дослідження характеристик аналого–цифрових перетворювачів широкосмугових сигналів. Швидкодійні аналого–цифрові перетворювачі сигналів є обов’язковими компонентами сучасної комп’ютерної та телекомунікаційної техніки. Завдяки новим можливостям аналого–цифрових перетворювачів з’явилася можливість збільшити надійність розроблюваних систем, які оцифровує всю смугу вхідних частот з високою роздільною здатністю, усуваючи необхідність використання безлічі прийомних трактів або дорогих аналогових фільтрів [4].

Незважаючи на ряд вже вирішених питань, при застосуванні швидкодійних аналого–цифрових перетворювачів високочастотних сигналів з покращеними параметрами існує ще багато проблем, які стримують широке використання аналого–цифрових перетворювачів в комп’ютерних системах, які входять до складу медичних інформаційних систем. А саме: обмежений динамічний діапазон у смузі високих частот вхідних сигналів (від 10 МГц і вище), недостатньо розроблені принципи побудови швидкодійних аналого–цифрових перетворювачів, що спричиняє обмеження ефективної розрядності перетворювачів [4]. Специфікою аналого–цифрового перетворювача є нелінійний вид функції перетворення, який проявляється як в статичному, так і в динамічному режимах функціонування. Крім того, процесу імпульсно-кодової модуляції притаманний стохастичний характер, обумовлений внутрішніми флуктуаційними та шумовими властивостями аналого–цифрового перетворювача при виконанні операцій дискретизації та квантування. Якщо проблеми аналізу поведінки аналого–цифрового перетворювача в статичному режимі функціонування достатньо добре вивчені та відповідна методологія добре відома широкому колу спеціалістів, то проблеми визначення динамічних

характеристик з урахуванням нелінійних і стохастичних властивостей продовжують інтенсивно досліджуватись.

Відомо, що динамічні властивості цих засобів визначаються повними динамічними характеристиками: передатною функцією, амплітудно-частотною характеристикою, фазочастотною характеристикою, імпульсною або перехідною характеристикою.

Повні динамічні характеристики лінійних аналогових засобів однозначно зв'язують між собою наступні співвідношення:

- перехідна функція

$$h(t) = \int_0^t g(\tau) d\tau; \quad (1)$$

- імпульсна перехідна характеристика

$$g(t) = \frac{dh(t)}{dt}; \quad (2)$$

- комплексний коефіцієнт передачі

$$K(j\omega) = \int_0^{\infty} g(t) \cdot e^{-j\omega t} dt. \quad (3)$$

Звідки

$$g(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K(j\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (4)$$

причому

$$K(j\omega) = A(j\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}$$

В результаті перехідних процесів в колах аналого-цифрового перетворювача у кожному циклі перетворення виникає похибка сигналу, що встановлюється, яка являє собою різницю між дійсним значенням та реальним значенням напруги (струму) на опорному вході компаратора:

$$\Delta u(i, T) = u_i - u_{it}, \quad (5)$$

де T – тривалість одного такту в циклі перетворення.

На динамічні властивості та роздільну здатність аналого-цифрового перетворювача впливає також внутрішній шум, підключений до його входу. Відношення сигнал/шум $S/N_{ш}$ ідеального n -розрядного аналого-цифрового перетворювача визначається шумом квантування, тобто

$$S/N_{ш} = 1,76 + 6,02n \quad (6)$$

З урахуванням зміни вхідного сигналу співвідношення сигнал/шум реального аналого–цифрового перетворювача буде визначатися за виразом

$$S / N_{ш} = 6n - \Delta S / N_{ш}, \quad (7)$$

де

$$\Delta S / N_{ш} = 10 \log_2 [1 + 12 \varepsilon^2 / (u')^2], \quad (8)$$

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{2^n - 1} \sum_{i=1}^{2^n} (u'_i - u'),$$

$$u' = \frac{1}{2^n} \sum_{i=1}^{2^n} u'_i$$

де u' – напруга, еквівалентна відповідному вхідному коду,

u'_i – напруга i -го кроку квантування реального аналого–цифрового перетворювача.

Середнє квадратичне значення шуму для заданої смуги частот дозволяє оцінити повний розмах гауссового шуму і його вплив на похибку перетворення.

До частинних динамічних характеристик відносять параметри повних динамічних характеристик, такі, як похибка датування відліку, час перетворення, час циклу кодування, частота перетворення та деякі інші.

На відміну від повних, частинні динамічні характеристики не дозволяють визначати динамічні похибки. Проте, використовуючи їх, можна лише орієнтовно співставити властивості того чи іншого аналого–цифрового перетворювача з умовами використання, і обрати аналого–цифровий перетворювач, який приблизно їх задовольняє. Разом з тим, частинні динамічні характеристики зручні для контролю аналого–цифрових перетворювачів у процесі виробництва телекомунікаційних засобів.

При проведенні аналізу динамічних характеристик і параметрів аналого–цифрового перетворювача показано, що для ефективного аналізу якості аналого–цифрового перетворювача широкосмугових сигналів потрібно визначати повні характеристики, які є основою для оцінювання частинних характеристик і динамічних параметрів аналого–цифрового перетворювача, який використовується в інформаційної медичної системі. У свою чергу при виборі системи і надалі, для підвищення надійності роботи інтегрованої

медичної інформаційної системи необхідно розглядати не тільки параметри медичного обладнання, але технічні і метрологічні параметри апаратно-програмного комплексу, до якого приєднується медичне обладнання.

Висновки

В роботі проведено аналіз динамічних характеристик і параметрів аналого–цифрового перетворювача, який показав, що для ефективного аналізу якості аналого–цифрового перетворювача широкосмугових сигналів потрібно визначати повні характеристики, які є основою для оцінювання частинних характеристик і динамічних параметрів аналого–цифрового перетворювача. На прикладі роботи інтегрованих медичних інформаційних систем, розвиток принципів побудови високоефективних структур швидкодійних аналого–цифрових перетворювачів високочастотних сигналів, які дозволяють виконувати перетворення сигналів у смузі високих частот і характеризуються широким динамічним діапазоном, є актуальною задачею.

Запропоновано застосування сучасних ІТ-технологій, а саме інтегрованих медичних інформаційних систем, при наданні екстреної медичної допомоги госпітальних-поліклінічними судами в районах природних катастроф і географічно віддаленій місцевості. Слід також зазначити суттєву роль таких судів, так як вони доставляють людей прямо із зони лиха, проводять санітарну обробку і розміщують постраждалих в абсолютно нормальні умови, які існують в будь-якій лікарні кожного великого міста, тим самим знижуючи ризик інфекції, а також скорочуючи реабілітаційний період.

ЛІТЕРАТУРА

1. Г. В. Альошин, О. О. Бесонов, Н. О. Пунченко, Інформаційні технології: сучасний стан та перспективи, Харків: ТОВ "ДІСА ПЛЮ С", 2018.

2. N. Puchenko, O. Tsyra, and G. Kovalova, "The strategy of informative redundancy of necessary measurements in the ship navigation as the independent direction in the development of a high tech park", *IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC): October, 16-18, 2018, Kyiv*, pp. 110 – 113, 2018.

3. Н. О. Пунченко, "Надійність роботи складових інформаційної системи", *Вісник Хмельницького національного університету*, №1, с. 162 – 164, 2019.

4. Г. Г. Бортник, Н. О. Пунченко, "Швидкодійний аналого-цифровий перетворювач з розширеним динамічним діапазоном", *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 3, с. 99–104, 2015.

3.5. Персоналізований підхід до обробки та аналізу медичних даних пацієнтів

Вступ і постановка задачі

Проблема отримання єдиної, дійсної та якісної інформації про інформаційний об'єкт досліджуваної предметної області є актуальною в сучасному світі. Це пояснюється швидким зростанням інформаційних потоків, які характеризуються різними типами даних, які надходять з різних джерел. Актуальність чіткої консолідації даних в медицині зростає через необхідність швидкої обробки великої кількості інформації пацієнта, що характеризується її неоднорідністю через виникнення нових особливостей історії хвороби для кожного пацієнта, а саме: індивідуальні особливості пацієнта, попереднє лікування, біохімічні показники, наявність ускладнень, попередня медикаментозна терапія та ін.

Стрімке зростання обсягу зібраних даних, відсутність альтернативних методів їх ефективного аналізу, потреба у значних людських ресурсах для підтримки процесу аналізу даних, висока обчислювальна складність наявних алгоритмів аналізу призводять до постійного зростання часу, який затрачається, навіть при своєчасному оновленні апаратних засобів. Це зумовлює необхідність появи нових методів та засобів опрацювання, консолідації персоналізованих даних для процесу збору гетерогенних даних великих обсягів а також підтримки прийняття лікарських рішень. Для вирішення цієї задачі доцільне використання підходів технології машинного навчання та Великих даних (Big Data).

Для ефективної роботи необхідні комплексні рішення щодо моніторингу, фільтрації, структурування та пошуку семантичних залежностей між поняттями досліджуваної області. Разом з тим, використовуючи Big Data, можна спостерігати за величезною множиною змінних, і на основі наданої інформації виявляти глобальні тенденції і висновки щодо оцінки станів досліджуваного об'єкта та прогнозування переходів між ними. Опрацювання та аналіз таких різнотипових даних використовується для моделювання розвитку подій та ситуацій в системах підтримки прийняття рішень.

Започаткували вивчення цієї проблеми фон Нейман, розробки компанії ІВМ, науковці школи Лебедева С.О., 17 Глушкова В.М. (системний аналіз, теорія конфліктних ігор, проблемноорієнтовані системи моделювання та опрацювання даних) [1, 5], що призвело до розвитку мов блокового програмування, систем підтримки прийняття рішень. Проте зміна класу

досліджень – від оперативного до аналітичного, поява нових типів даних, необхідність швидкого доступу до них, зумовила збільшення інтересу до проблеми інтеграції та опрацювання даних з метою підвищення якості рішень. Найбільша активність у сфері досліджень щодо інтеграції даних припадає на 90-ті рр. XX ст. та на наш час [4] у зв'язку з бурхливим розвитком методів Business Intelligence, Machine Learning та збільшенням можливостей сховищ даних (збільшення обсягів збережених даних, наявність процедур аналітичного опрацювання даних).

Особливістю сучасних досліджень є аналіз не лише типів даних (описів), але й семантики. Особливо активний розвиток засобів для оперативного збору різнотипних даних, завантаження їх у сховище даних, аналізу та прогнозування спостерігається в сферах енергетики та адміністративного керування [5]. Але на даний час ця проблема актуалізується і в медицині. Специфіка опрацювання медичних даних великих обсягів визначає потребу у розробці нових методів аналізу, консолідації, прогнозування для підтримки лікарських рішень під час діагностування, лікування та реабілітації хворих.

Процес аналізу медичних даних характеризується рядом визначених проблем, які виникають під час розв'язання такого класу задач, а саме [3, 4]:

- нечіткість представлених даних;
- класифікація даних;
- консолідація даних;
- визначення загального стану хворого;
- визначення персоналізованих рішень щодо лікування;
- оцінка ступеня надійності результуючих висновків;
- оцінка появи ризиків;
- прогнозування станів хворого під впливом застосованої терапії.

Як наслідок виникають проблеми при обробці даних, а саме: відсутність методів аналізу, придатних до застосування через їх різнотипність (для медицини – це часово-залежні дані загального стану хворого, і слабоструктуровані дані лабораторних досліджень, тощо), потреба у значних людських ресурсах для підтримки процесу аналізу даних, висока обчислювальна складність наявних алгоритмів аналізу та стрімке зростання обсягу зібраних даних. Це в свою чергу призводить до постійного зростання часу, що витрачається на аналіз даних навіть при регулярному оновленні комп'ютерних засобів, а також – необхідність роботи із розподіленими базами даних, можливості яких більшість існуючих методів аналізу даних не використовують ефективно.

Таким чином, виникає задача розроблення ефективного уніфікованого методу аналізу та консолідації персоналізованих даних, що дозволить його застосовування не лише для медицини але і для інших предметних областей.

Основними задачами аналізу медичних даних, які мають відношення як до постановки діагнозу та призначення лікування, рис. 1.

Основна частина

Наявність можливості ефективного зберігання, доступу і модифікації інформації про стан об'єкту (хворого), а також комбінування з реальними потоковими даними про досліджувану ситуативну проблему дозволить опрацювати структуру медичних даних. Для цього необхідно визначити структуру персоналізованих даних.

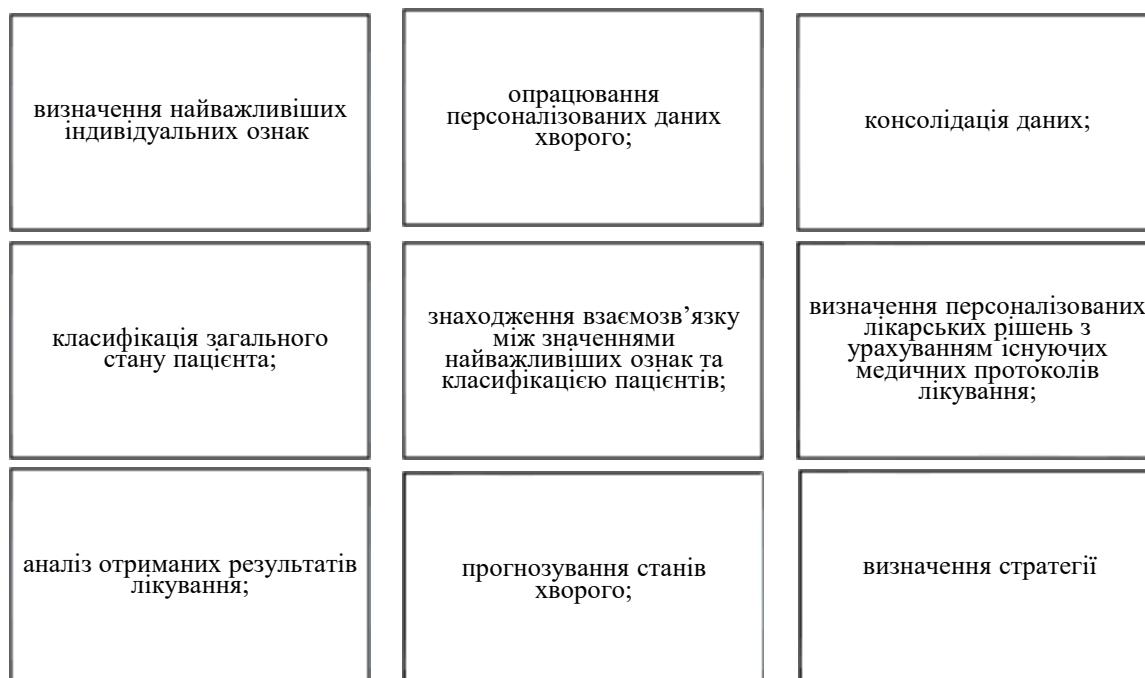


Рис. 1 Основні задачі аналізу медичних даних

Персоналізовані дані PD – це множина даних, елементами якої є підмножини часо-незалежних даних (A) та часово-залежних даних (S) досліджуваного об'єкта, що характеризують загальний його стан.

$$PD = \{A, S\}; \quad (1)$$

Елементами підмножини часово-залежних даних для прикладу в лікуванні гнійної хірургічної інфекції є: антропометричні дані, функціональні показники, дані лабораторних досліджень, діагноз, збудник, анатомічна локалізація, локалізація запального процесу, вага пацієнта, тощо.

$$A = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}; \quad (2)$$

Елементами множини часово-незалежних даних є: алергізація, супутня патологія, конкуруючі препарати, суміжні препарати, попередня препаратотерапія, вік пацієнта, фактор економічності, тощо.

$$S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_m\}; \quad (3)$$

$$\text{де } A \cup S \rightarrow PD; \quad (4)$$

Аналізуючи множини даних, які характеризуються різнотипною інформацією та які подані у різних моделях представлення даних можемо скористатися підходом консолідації даних за рахунок створення асоціацій між об'єктами даних від різних учасників, поліпшення доступу до джерел з обмеженими власними засобами доступу, забезпечення можливості виконання деяких запитів без доступу до реального джерела даних; консолідація даних в результаті запиту користувача, збереження високого рівня доступності та відновлення.

За рахунок зростання інформації про хворого під час процесів діагностування та лікування та залежно від реалізації каталогу даних (Dd), де міститься середовище керування моделями (Mm), що дозволяє створювати нові підключення та керувати зв'язками між ними.

Взаємозв'язок між каталогом, середовищем управління моделями та консолідованим сховищем (the consolidated data repository) CDR даних може бути представлений у вигляді відображення:

$$Mm(Dd) \Rightarrow CDR. \quad (5)$$

Чим більше моделей можна ідентифікувати, тим точніше інформація буде в CDR , а дозволить застосовувати процедури інтеграції, пошуку та обробки даних у просторі даних.

Відповідно до визначених множин даних для забезпечення персоналізації рішень пропонується концептуальна модель персоналізації рішень щодо визначення лікування, рис.2.

Процес опрацювання та аналізу персоналізованих даних для пошуку лікарських рішень представимо у вигляді пари:

$$APD = \{GS, PD \cup D\}; \quad (6)$$

Тут GS – множина станів пацієнта, PD – множина персоналізованих даних, де $rank(p)$ – загальна кількість персоналізованих даних, V_p – множина значень атрибуту p_i .

$$PD = \{p_1, p_2, \dots, p_{rank(p)}\}; \quad (7)$$

$$\text{та } p_i: GS \rightarrow V_p;$$

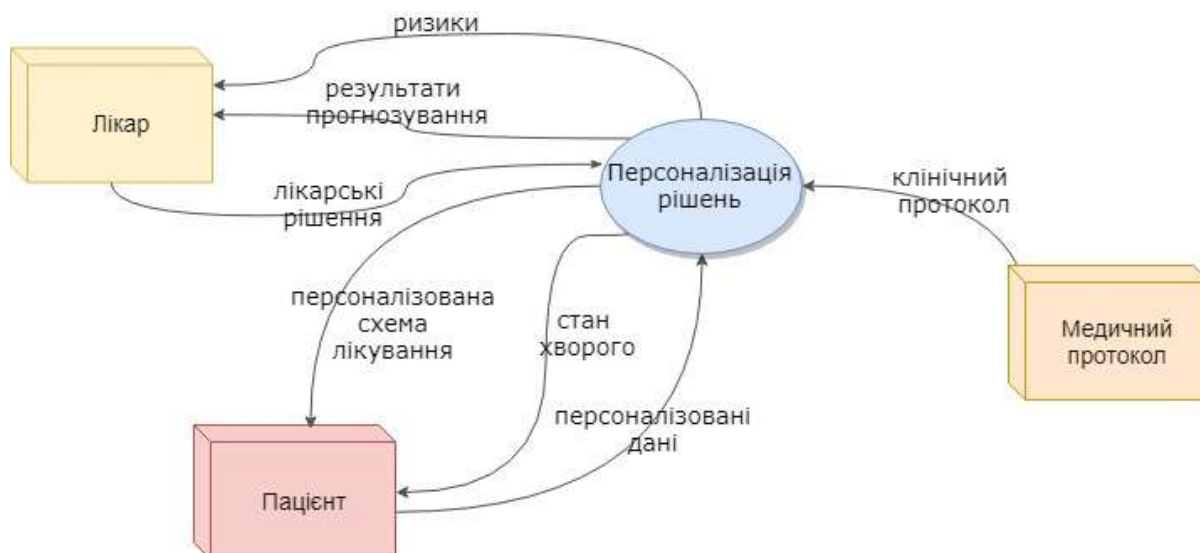


Рис. 2. Концептуальна модель персоналізації рішень щодо визначення лікування

Припускається, що множина D – множина персоналізованих рішень має скінченний розмір $rank(d)$, V_d – множина значень атрибуту d_i відповідно до протоколу лікування.

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_{rank(d)}\}; \quad (8)$$

$$\text{та } d_i: PD \rightarrow V_d;$$

Атрибути множини PD називаються умовами, а D – рішеннями. Множина об'єктів O_i - i -м класом рішень, d_i – значення i -го рішення, отримане з множини рішень D .

$$O_i = \{g_{i_k} \in GS, : D(g_{i_k}) = d_{i_k}\}; \quad (9)$$

Отже, правило прийняття рішення – це формула вигляду

$$d_k = (p_{i_1} \rightarrow v_{j_1}) \wedge (p_{i_2} \rightarrow v_{j_2}) \wedge \dots \wedge (p_{i_{rank(p)}} \rightarrow v_{j_{rank(d)}}).$$

Для побудови класифікуючих правил існує велика кількість спеціальних алгоритмів [6]. З обчислювальної точки зору ці алгоритми є NP-складними, і їх застосування вимагає використання спеціальних евристик для зменшення загального обсягу обчислень. При цьому загальна кількість отриманих правил може бути значною, що вимагатиме додаткових зусиль для вибору кращих з них. Серед відомих підходів до формування таких евристик є метод асоціативних правил, зворотнього виводу, Байеса, булевих міркувань (Boolean reasoning) [11]. Вирішення задачі прийняття рішень (класифікації) як проблема

визначення лікування з точки зору застосування отриманих правил повинна спиратись на досвід попереднього досвіду.

Для побудови дерев рішень останніми роками активно застосовують алгоритм ID3 та його модифікації C4.5, See5 [14]. Усі ці алгоритми будують дерева та генерують правила на основі прикладів.

Практичне застосування класичного алгоритму ID3 пов'язане з рядом проблем, характерних для моделей, заснованих на навчанні і дерев рішень зокрема. Один з недоліків алгоритму ID3 є те, що він некоректно працює з атрибутами, що мають унікальні значення для всіх об'єктів з навчальної вибірки. Для таких об'єктів інформаційна ентропія дорівнює нулю і ніяких нових даних від побудованого дерева з даною залежною змінною отримати не вдасться, оскільки одержувані після розбиття підмножини будуть містити по одному об'єкту. Для ефективного подолання недоліків ID3 був доопрацьований, в результаті чого з'явилося його розширення, назване C4.5.

Алгоритм C4.5 вирішує цю проблему шляхом введення нормалізації. Оцінюється не кількість об'єктів того чи іншого класу після розбиття, а число підмножин і їх потужність (число елементів). Проте проблема опрацювання виключно незалежних параметрів залишається.

Можна відзначити, що при спробі побудувати подібні дерева для вирішення складних медичних завдань кількість вершин і розгалужень стає настільки великим, що аналіз логічного дерева виявляється вкрай складним; найменші зміни, що вносяться до логіки відношень, призводять до необхідності будувати дерево заново і перепрограмувати всю задачу.

Позитивним аспектом застосування теорії дерев рішень для вирішення проблеми персоналізації є те, що процес представлення логіки питань лікарем при вирішенні лікувальної задачі збору анамнезу реалізується прозоро та хронологічно, а також цей підхід дає змогу імітувати процес прийняття рішення лікарем при підборі схеми лікування.

Для оцінки появи наступної події під час пошуку рішень ми пропонуємо власний метод, що надасть направленості при виборі цільових схем лікування.

Вважаємо, що визначення переходів базується на теорії алгоритмів упорядкованого пошуку у просторі станів системи прийняття лікарських рішень. Отже, при цьому визначальною є оціночна функція $V(\Psi)$. Вага появи наступної події відповідає найбільшому значенню апостеріорної імовірності появи наступного стану з урахуванням часово-залежних вхідних параметрів, тобто

$$V(S) = \max(p(G/S)) \quad (10)$$

Схема опрацювання вхідних даних про пацієнта у системі підтримки прийняття рішень характеризується основними етапами, що передбачають наступні кроки:

- збір експериментальних даних або даних анамнезу хворого;
- систематизація цих даних;
- перевірка відповідності даних до моделі;
- введення нових параметрів хворого або редагування існуючих;

Дерева рішень є одним з популярних підходів до розв'язання задач Data Mining. Цілі впливають з об'єктивних потреб і мають ієрархічний характер [9]. Цілі верхнього рівня не можуть бути досягнуті, поки не досягнуті цілі найближчого нижнього рівня. В міру переміщення вниз рівнями ієрархії цілі конкретизуються. У процесі пошуку персоналізованої інформації засобами дерев рішень необхідно прагнути чіткого і конкретного формулювання цілей, забезпечити можливість кількісної чи порядкової оцінки ступеня їхнього досягнення.

Побудова дерева рішень пошуку медичної інформації при використанні цього підходу зумовлена формуванням послідовності питань, що задаються лікарем при пошуку індивідуального підходу при виборі лікування.

Як результат застосування дерева пошуку з використанням методу для уніфікації персоналізованих схем лікування цільового рішення подано прототип системи підтримки прийняття рішень щодо аналізу персоналізованих даних пацієнта, рис. 3.

The screenshot displays a user interface for patient data management. It includes a form for personal information and a table of medical records.

Personal Information:

- Прізвище: [Redacted]
- Ім'я: [Redacted]
- По батькові: [Redacted]
- Вік: 51
- Стать: чоловіча
- Вага: 84

Записи пацієнта:

+Додати запис

10 записів на сторінку

Поступив	№ запису	Показати	Редагувати	Видалити
12 Листопад 2018	2617			
30 Жовтень 2018	45678			

Showing 1 to 2 of 2 entries

Рис. 3 Результат опрацювання персоналізованих даних в системі “Antibioticus”

Проаналізовано роботу низку методів для опрацювання персоналізованих даних та швидкодію опрацювання запиту під час пошуку індивідуальної схеми лікування. Порівняння часової складності прийняття лікарських рішень використаних методів представлено у табл. 1 та на рис.4:

Таблиця 1

Таблиця визначення часового показника опрацювання запиту

Кількість запитів	Метод уніфікації персоналізованих схем лікування	Мережа Байєса	Метод асоціативних правил	Метод логічного виведення
20	0,056	0,059	0,057	0,06
40	0,059	0,06	0,059	0,06
60	0,06	0,0616	0,061	0,062
80	0,061	0,0625	0,062	0,063

Висока швидкодія методу уніфікованого підбору пояснюється тим, що метод за рахунок збалансованості дерева пошуку схеми лікування опрацьовує лише персоналізовані дані, які задані у вхідному наборі даних. Внаслідок чого збільшення критеріїв відбору (параметрів пацієнта) обернено пропорційно впливає на перелік запропонованих терапевтичних схем.

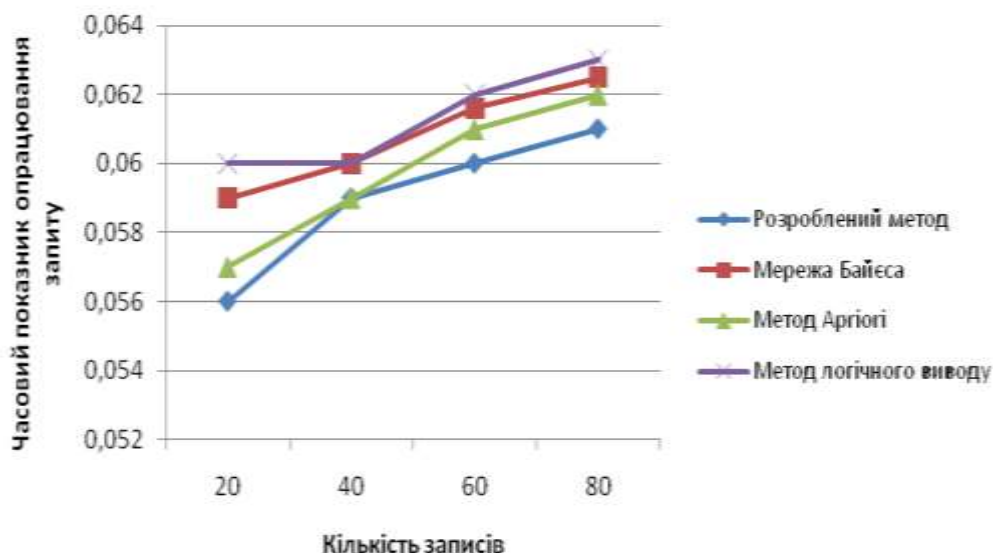


Рис. 4. Діаграма оцінки часового показника опрацювання запиту

Для визначення "правильності" сформованої персоналізованої схеми лікування, а, отже, для перевірки запропонованого підходу щодо опрацювання

персоналізованої медичної інформації необхідно оцінити наскільки змінився стан пацієнта після того, як він лікувався за цією схемою.

На сьогодні оцінка лікарських рішень здійснюється статистичними методами, аналізуючи дані великих груп пацієнтів. Проте для конкретних пацієнтів короткотерміновий аналіз ефективності лікування не здійснюється.

Усі медичні інформаційні системи, які розробляються та базуються на наукових дослідженнях, повинні впливати на результати одужання хворих людей. У стандарті ISO 14155:2011 вказано, що безпека та благополуччя таких людей (BL) еквівалентна якості їх життя (QL).

$$BL \approx QL$$

Якість життя хворої людини у сучасній медицині залежить від фізичного, психологічного, та соціального компонентів. Кожен із цих компонентів у свою чергу включає цілий ряд складових, табл. 2.

Таблиця 2

Загальні показники оцінки стану пацієнта

Фізичний стан				Психологічний стан				Соціальний стан			
FS_1	FS_2	FS_3	FS_4	PS_1	PS_2	PS_3	PS_4	SS_1	SS_2	SS_3	SS_4
симптоми захворювання	фізіологічні ознаки	можливість виконання фізичної роботи	здатність до самообслуговування	тривога	депресія	агресія	адекватність	соціальна підтримка	матеріальна спроможність	наявність роботи	громадські зв'язки

Їх всебічне вивчення дає змогу визначити рівень якості стану хворого, як окремої особи, так і цілих груп, і встановити, зарахунок якого складника він підвищується чи знижується та на що необхідно вплинути, щоб покращити якість життя (скоригувати або змінити тактику лікування, надати соціальну підтримку та ін.) [13].

Основні завдання в процесі покращення стану здоров'я пацієнтів:

- підвищення функціональних показників,
- максимальне наближення якості життя хворого до рівня здорової людини.

Розроблено метод оцінювання якості результатів застосування персоналізованих схем шляхом формалізації якісних показників, що на відміну

від існуючих показників, які формуються на основі експертного оцінювання, дають змогу покращити якість лікарських рішень при виборі тактики лікування зарахунок визначення їхнього впливу на комплексний критерій стану пацієнта. Формалізацію якісних показників здійснено з урахуванням вимог стандарту ISO 14155:2011.

I етап. Визначаються показники фізичного, психологічного та соціального стану хворого шляхом логічного додавання параметрів, що оцінюють фізичні, психологічні та соціальні характеристики пацієнта.

II етап. Визначається показник якості надання медичної допомоги подано у вигляді відношення характеристик стану хворого та часових показників.

III етап. Визначення ваги стану самопочуття реалізується як обернено пропорційна залежність показників фізичного та психологічного станів хворого.

IV етап. Визначення показника якості стану одужання хворого (QSR) є відображенням міри важкості хвороби, де значення 1 відповідає відмінному здоров'ю людини, а 0 – смерті.

V етап. Визначення кількісної оцінки застосування персоналізованих схем E_{ZS} здійснюється на основі параметрів загального стану пацієнта до (ZS_f) та після (ZS_e) застосування персоналізованої схеми.

VI етап. Визначається показник оцінки економічності витрат як показник економічності терапевтичних або профілактичних заходів EE , що у контексті фармoeкономіки є співвідношенням витрати на втручання.

VII етап. Визначається значення комплексного критерію якості стану хворого (QSP), визначається як комплексна величина шляхом розв'язання багатокритеріальної задачі.

Отже, якість життя, яка характеризується показником якості стану хворого, прямо пропорційна якості стану одужання хворого та ефективності надання медичної допомоги, що визначається комплексним аналізом нових методів діагностики, лікування, профілактики, якості лікування [8].

Встановлено, що якість життя є чинником, що визначає схильність хворого до лікування. Отже, лікування може спричиняти як позитивні, так і негативні зміни в якості життя. Тому останнім часом у ряді досліджень, оцінюють вплив лікування на зміни якості життя, та розглядають як один із показників підвищення якості обробки медичної персоналізованої [10,12].

Показник якості надання медичної допомоги можна сформулювали у вигляді взаємозалежності характеристик стану хворого та часових показників:

$$EMH = \frac{(FS + PS)}{T \cdot k_d},$$

де FS – показник фізичного стану хворого,

PS – показник психологічного стану хворого,

T – часовий показник тривалість перебігу хвороби, $T > 0$,

k_d – коефіцієнт складності патології, що береться із медичної літератури [13].

Таблиця 3

Оцінка часового показника відповідно до ліжкоднів

Часовий показник (T)	Ліжкодні (L)
5	$L < 5$
10	$5 < L < 10$
15	$L > 10$

Поняття якості життя широко використовується і в фармакономічних дослідженнях, зокрема для аналізу вартості або користі, стаючи в даному випадку основним показником ефективності терапії. Це дає можливість об'єднати очікувану тривалість життя та його якість, а також порівняти вартість витрат та методи лікування зовсім різних захворювань, перебіг яких оцінюють за допомогою різних клінічних показників. Для цього використовується одиниця QSR – якість стану одужання пацієнта. Таким чином, можна отримати важливу інформацію для порівняння ефективності різних методик лікування, розробки нових підходів та планування фінансування різних галузей охорони здоров'я на національному рівні [7, 9].

Вага стану самопочуття пацієнта FL оцінюється в діапазоні від 0 і 1.

Спосіб визначення ваги пов'язаний з певним станом здоров'я людини. Для цього використовують стандартні описові системи, такі як EuroQol і EQ5D, які класифікують стан здоров'я відповідно до наступних класів: мобільність, догляд за собою, звичайна діяльність, біль / дискомфорт і тривога / депресія. Тим не менш, вага відповідає певному стану самопочуття може сильно варіюватися, залежно від рівня обстежуваних [11,12].

Ми пропонуємо власний метод визначення стану самопочуття хворого.

Фізичний та психологічний стан є основними характеристиками хворого та їхня обернено пропорційна залежність дає оцінку ваги стану самопочуття [6].

$$FL = \frac{FS}{PS + FS},$$

де FS – показник фізичного стану хворого, PS – показник психологічного стану

хворого.

Якість стану одужання хворого QSR (Quality of state recovery) є мірою важкості хвороби, включаючи якість та кількість життя. [2,12]. Ця одиниця використовується при оцінці співвідношення ціни і якості медичного втручання. QSR – модель залежить від об'єктивної оцінки стану пацієнта, коефіцієнту ризику, компромісної поведінки та часового показника подовження життя хворого після втручання [4,5]. Кількісний показник QSR відповідає 1 при відмінному здоров'ї людини та 0 – відповідно при смерті.

$$QSR = k_r \frac{P_{com}}{1 - Sp},$$

де P_{com} – компромісна поведінка,

$$P_{com} = \frac{SS}{T}$$

де SS – показник соціального стану хворого, T – часовий показник тривалості перебігу хвороби, $T > 0$.

k_r – коефіцієнт ризику,

$$k_r = \sqrt{1 - \frac{T}{T_d}}$$

де T_d – показник подовження життя хворого після втручання, $T_d > 0$

$$T_d = 365k_d Ag$$

де Ag – вік пацієнта; k_d – коефіцієнт складності патології; Sp – оцінка стану пацієнта, що взаємозалежна з вагою стану самопочуття та соціального стану хворого SS :

$$Sp = FL \times SS$$

де FL – вага стану самопочуття хворого.

QSR часто використовується для аналізу корисності витрат, та розрахунку співвідношення вартості втручання до QSR . Аналіз корисності витрат є однією з форм економічного аналізу та використовуються для керівництва закупівельних рішень. Застосування цього аналізу спостерігається в фармоeкономії та особливо для оцінки технологій, що використовуються в медичних системах.

Висновки

1. Персоналізований підхід щодо опрацювання медичної інформації характеризується рядом проблем, а саме: нечіткість представлених даних, класифікація даних, консолідація даних, визначення загального стану хворого, визначення персоналізованих рішень щодо лікування, оцінка ступеня надійності

результуючих висновків, оцінка появи ризиків, прогнозування станів хворого під впливом застосованої терапії. Як результат виникають проблеми при обробці даних, відсутність методів аналізу, придатних до застосування через їх різнотипність.

2. Для спрощення процесу опрацювання та розв'язання ряду визначених проблем запропоновано підхід щодо уніфікації та формалізації персоналізованих даних, що дозволить оптимізувати процес аналізу медичних даних та прийняття лікарських рішень.

3. Проаналізовано методи опрацювання персоналізованих медичних даних: метод уніфікації персоналізованих схем лікування, мережа Байєса, метод асоціативних правил, метод логічного виведення, що сформувало бачення щодо ефективності їхнього застосування для такого типу задач.

4. Отримали, що у методі уніфікації персоналізованих схем лікування збільшення критеріїв відбору (параметрів пацієнта) обернено пропорційно впливає на перелік запропонованих терапевтичних схем. Це дозволяє підвищити швидкодію пошуку, за рахунок збалансованості дерева пошуку та опрацювання лише персоналізованих даних, що надходять у вхідному наборі даних.

5. Розроблено метод оцінювання якості результатів застосування персоналізованих схем шляхом формалізації якісних показників, що на відміну від існуючих показників, які формуються на основі експертного оцінювання, дають змогу покращити якість лікарських рішень при виборі тактики лікування зарахунок визначення їхнього впливу на комплексний критерій стану пацієнта.

ЛІТЕРАТУРА

1. P. Mulesa, and I. Perova, "Fuzzy Spacial Extrapolation Method Using Manhattan Metrics for Tasks of Medical Data", *Mining Computer Science and Information Technologies CSIT'2015*, Lviv, pp. 104-106, 2015.

2. N. Melnykova, and O. Markiv, "Semantic approach to personalization of medical data", *Computer Sciences and Information Technologies - Proceedings of the 11th International Scientific and Technical Conference*, pp. 59-61, 2016.

3. N. Melnykova, and O. Marikutsa, "Specifics personalized approach in the analysis of medical information", *ECONTECHMOD: An International Quarterly Journal on Economics of Technology and Modelling Processes*, Vol. 5, No 2. pp. 113-120, 2016.

4. N. Melnykova, N. Shakhovska, and T. Sviridova, "The personalized approach in a medical decentralized diagnostic and treatment", *14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics, CADSM*, pp. 295-297, 2017.

5. N. Melnykova, "Semantic search personalized data as special method of processing medical information", *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp. 315-325, 2017.

3.6. Визначення інформаційної забезпеченості системи верифікації даних

Вступ і постановка задачі

Враховуючи тенденції та динаміку розвитку віртуальних спільнот в українському сегменті глобального інформаційного середовища, розроблення програмних засобів управління веб-спільнотами є пріоритетним завданням. Попри те, що віртуальні спільноти акумулюють в собі велику кількість даних та стають все популярнішими серед веб-користувачів, програмні засоби верифікації особи у веб-просторі все ще є некомплексними, формальними, поверхневими, і зводяться до зіставлення даних та перевірки наявності певних формальних ознак (наприклад, програмні засоби, які призначені для верифікації відео, перевірки правдивості метаданих та пошуку учасників у соцмережах тощо).

Наукове завдання розроблення методів та засобів перевірки достовірності персональних даних учасників віртуальних спільнот, зокрема їхніх соціально-демографічних характеристик, на основі комп'ютерно-лінгвістичного аналізу інформаційного наповнення є актуальним напрямом наукових досліджень у галузі комп'ютерної лінгвістики. Оскільки, почастишали випадки використання лінгво-сугестивних та маніпуляційних технологій в інтернет-комунікації та розвивається інформаційна інтенція, яка здебільшого спрямована на недосвідченого та довірливого веб-користувача. Без лінгвістичних методів та автоматизованих програмних засобів завдання верифікації веб-учасника для адміністраторів віртуальних спільнот ускладнене і потребує значних фінансових та часових затрат.

Учасники віртуальних спільнот часто подають зумисно неправдиві особисті дані з метою свідомого або прихованого маніпулювання, введення в оману інших учасників веб-спільноти, створюючи фальшивий користувацький обліковий запис з необхідними їм соціально-демографічними характеристиками.

Виконані дослідження мають прикладне значення, особливо актуальне для проведення якісного адміністрування віртуальних спільнот та здійснення соціальних та маркетингових досліджень, зокрема, у таких напрямках:

- використання методів соціальної інженерії у WWW (С.Hadnagy, К.Mitnick, М.Whitman, S.Conheady),
- підвищення позиції інформаційного наповнення (А.Croll),
- ефективне управління віртуальними спільнотами (Y.Zhang),

- аналіз якості інформаційного наповнення (Т. Berners-Lee) та його персоніфікація,
- розроблення засобів інтернет-маркетингу у онлайн-спільнотах (J. Sheahan, A. Blanchard),
- аналіз персональної інформації, що розміщена в глобальній системі WWW (М. Metzger, Т. Johnson, К. Freeman).

Окремим напрямом дослідження є верифікація соціально-демографічних характеристик учасників віртуальних спільнот – персональних даних, які учасник надав у особистому обліковому записі учасника віртуальної спільноти, що дає можливість ідентифікувати учасника веб-спільноти та сформувати віртуальний образ веб-користувача в аудиторії веб-спільноти. Завдання верифікації даних веб-учасників комплексно ще не вирішене, хоча цього потребує широке коло фахівців з організації та ефективного функціонування веб-спільнот, що зумовлює актуальність розроблення нових результативних та універсальних методів та засобів перевірки достовірності персональних даних веб-учасників з належним науковим обґрунтуванням.

Основна частина

Програмна реалізація перевірки достовірності даних учасників віртуальних комунікацій за допомогою комп'ютерно-лінгвістичного аналізу інформаційних слідів веб-учасників є одним з важливих завдань досліджень інтернету, математичної лінгвістики та суміжних наукових сфер.

До програмного засобу для верифікації соціально-демографічного портрета веб-учасника ставляться високі вимоги, адже цей засіб в реальному часі повинен опрацьовувати великий масив динамічної інформації. Також треба звертати увагу на постійний ріст активності учасників популярної веб-спільноти, які невпинно генерують не завжди якісне та адекватне, до цілей позиціонування спільноти у вебі, інформаційне наповнення. Звичайно, такий сценарій розвитку спільноти є перешкодою для ефективного функціонування спільноти в конкурентному середовищі.

Ефективне функціонування спільноти залежить від ряду чинників, як об'єктивних, так і суб'єктивних. Проте, наявні на сьогодні методи та засоби, що використовуються у глобальних сервісах, в повній мірі не виконують усіх завдань, які б задовольнили потреби власників та модераторів в управлінні віртуальними проектами, зокрема віртуальними спільнотами. Розроблення методів та засобів перевірки достовірності персональних даних у обліковому

записі користувача є одним з найбільш значимих факторів, які впливають на покращення функціонування віртуальної спільноти.

Серед задач, які вимагають окремого підходу до валідації персональних даних користувачів, методом комп'ютерно-лінгвістичного аналізу інформаційного наповнення, виокремлено наступні:

- брак якісного та достовірного інформаційного наповнення;
- мінімізація анонімності користувачів;
- сприйняття спільноти, як платформи для довільної реалізації своїх бізнес ідей;
- невелика успішність та популярність спільноти, що призводить до низької рентабельності веб-проекту;
- необхідність великих капіталовкладень власниками веб-спільноти;
- вагомі та необґрунтовані затрати часу у модеруванні віртуальною спільнотою;
- уникнення загроз інформаційної безпеки учасників віртуальної спільноти, що можуть призвести до кримінальної відповідальності власника спільноти;
- низька конкурентоспроможність в порівнянні з іншими спільнотами;
- проблеми в управлінні віртуальною спільнотою (високий рівень конфліктів, низький авторитет модераторів тощо);
- покращення методів інтернет-таргетингу.

Усі вищеперераховані задачі враховані при розробленні структури програмного забезпечення для верифікації соціально-демографічного портрета веб-учасника.

Для вирішення вищенаведених завдань потрібно дотримуватись стандартних вимог до створення програмних інтерфейсів. Проте, зважаючи на специфіку середовищ соціальних комунікацій, варто звернути увагу на деякі спеціальні вимоги до інтерфейсу програмного засобу:

- простота у користуванні навіть особі, яка не має профільної освіти;
- задоволення потреб користувача при розв'язанні конкретної функціональної задачі;
- зрозумілість і логічність виводу результатів, що зменшить час прийняття рішення та покращить їх якість;
- можливість нарощення функціональності, тобто адаптування та збільшення функціонального блоку програмного засобу відповідно до потреб конкретного учасника – адміністратора чи модератора веб-спільноти;

– простота аналізу, збереження та використання результатів, впровадження їх у діяльність віртуальної спільноти.

Інформаційна забезпеченість системи верифікації соціально-демографічних характеристик є ключовим завданням для якісного функціонування системи.

Інформаційна забезпеченість системи верифікації соціально-демографічних характеристик – це зведений показник, який визначає повноту даних для коректної роботи системи верифікації соціально-демографічних характеристик.

Інформаційна забезпеченість системи верифікації соціально-демографічних характеристик залежить від таких параметрів:

- рівень заповнення облікового запису,
- рівень актуальності даних облікового запису та контенту,
- адміністративне повноваження,
- рівень активності веб-учасника
- рівень дотримання правил віртуальної спільноти.

Інформаційна забезпеченість системи верифікації соціально-демографічних характеристик визначаємо як:

$$IPVer^{(User_j)} = k_1 * CA^{(User_j)} + k_2 * Actl^{(PD,C)} + k_3 * AP^{(User_j)} + k_4 * Actv^{(User_j)} + k_5 * RulVc^{(User_j)} \quad (1)$$

де k_1, k_2, \dots, k_5 – вагові коефіцієнти кожного параметру інформаційної забезпеченості системи, які визначаються експертним шляхом з урахуванням комунікативної поведінки веб-учасника та сценарію розвитку віртуальної

спільноти, при чому $\sum_i k_i = 1$, $k_i \geq 0$;

$CA^{(User_j)}$ – рівень заповнення облікового запису;

$Actl^{(PD,C)}$ – рівень актуальності даних облікового запису та контенту;

$AP^{(User_j)}$ – адміністративне повноваження;

$Actv^{(User_j)}$ – рівень активності веб-учасника;

$RulVc^{(User_j)}$ – рівень дотримання правил віртуальної спільноти.

Як наслідок, $IPVer^{(User_j)} \in [0,1]$.

Інформаційна забезпеченість системи верифікації соціально-демографічних характеристик дає змогу оцінити ефективність комп'ютерно-лінгвістичного аналізу інформаційного наповнення учасника віртуальної спільноти та побудови соціально-демографічного портрета учасника віртуальної спільноти для управління веб-спільнотою і враховувати цей показник у процесі модерування веб-спільноти.

Далі детальніше розглянемо кожен з параметрів від яких залежить інформаційне забезпечення системи верифікації даних учасників віртуальної спільнот.

Рівень заповнення облікового запису

Процес реєстрації у віртуальній спільноті передбачає заповнення облікового запису користувача – надання персональних даних користувачем веб-спільноти.

Кількість персональних даних визначає рівень заповнення облікового запису, який визначаємо як:

$$CA^{(User_j)} = TechCr^{(AC)} * \left(1 - \frac{N_{empty}}{N_f} \right) \quad (2)$$

де $TechCr^{(AC)}$ – рівень технічної коректності заповнення облікового запису,

N_f – кількість заповнених полів у обліковому записі,

N_{empty} – кількість порожніх полів.

При чому, $CA^{(U_j)} \in [0,1]$.

Залежно від значення $CA^{(U_j)}$ облікові записи класифікують відповідно до даних табл.1.

Таблиця 1

Вагові коефіцієнти рівня заповнення облікового запису

Рівень	Пояснення	Значення
мінімальний	вказано тільки обов'язкові дані для заповнення	$0 \leq \min \leq 0,25$
частковий	надано більше персональної інформації ніж тільки обов'язкові категорії даних	$0,25 < \text{avg} \leq 0,75$
максимальний	заповнені всі поля в профілю учасника	$0,75 < \text{max} \leq 1$

Максимальний рівень заповнення облікового запису є найбажанішим для адміністрації віртуальної спільноти, адже дає можливість класифікувати учасників віртуальної спільноти, фільтрувати небажану аудиторію віртуальної спільноти.

Технічна коректність заповнення облікового запису – характеристика персональних даних облікового запису, яка полягає в правильності введення даних у поля облікового запису.

Види порушення технічної коректності заповнення облікового запису наведено у табл.2:

Таблиця 2

Значення вагових коефіцієнтів рівня технічної коректності заповнення облікового запису

Рівень	Пояснення	Значення
Високий рівень технічної коректності	коректне технічне заповнення усіх полів облікового запису	1
Середній рівень технічної коректності	пропуск цифр в номері чи даті, ненавмисні помилки	0,75
Низький рівень технічної коректності	заповнення полів беззмисловою інформацією, наявністю заборонених символів, помилки у вказанні електронної пошти, дати народження, телефону, адреси тощо	0,5
Відсутність технічної коректності	свідомошкідницькі дії (вставлення HTML теги, Java scripts, заборонені символи, що шкодять функціонування віртуальної спільноти)	0

Актуальність даних облікових записів та інформаційного наповнення

Актуальність інформаційного наповнення – характеристика інформаційного наповнення, яка визначається ступенем важливості та відповідності інформаційного наповнення поточному моменту часу. Тільки актуальний контент висвітлює сучасні питання і потреби суспільства.

Таблиця 3

Значення вагових коефіцієнтів рівня актуальності інформаційного наповнення

Рівень	Термін оновлення	Значення
високий рівень актуальності інформаційного наповнення (HLA)	від 0 до 1 дня	1
середній рівень актуальності інформаційного наповнення (ALA)	від 1 дня до 1 тижня	0,7
низький рівень актуальності інформаційного наповнення (LLA)	від 1 тижня до 1 міс	0,5
дуже низький рівень актуальності інформаційного наповнення (VLLA)	від 1 місяця до 3 місяців	0,3
неактуальне інформаційне наповнення (NA)	3 місяці та давніше	0

Незалежно від ступеня актуальності облікового запису є обов'язковим визначення актуальності його персональних даних.

Актуальність даних облікового запису – характеристика даних облікового запису, яка визначається своєчасністю оновлення персональних даних, що змінюються з плином часом та є обов'язковою умовою для ефективного функціонування віртуальної спільноти.

Параметр актуальності визначаємо, як середнє арифметичне вагових коефіцієнтів рівня актуальності інформаційного наповнення та рівня актуальності персональних даних:

$$Actl^{(PD,C)} = \left(Actl^{(Content)} + Actl^{(PD)} \right) \div 2 \quad (3)$$

де $Actl^{(Content)}$ – рівень актуальності інформаційного наповнення,

$Actl^{(PD)}$ – рівня рівень актуальності даних облікового запису.

При чому, $Actl^{(PD,C)} \in [0,1]$.

Таблиця 4

Значення вагових коефіцієнтів рівня актуальності персональних даних

Рівень	Термін оновлення	Значення
високий рівень актуальності персональних даних (HLA)	від 1 дня до 1 міс	1
середній рівень актуальності персональних даних (ALA)	від 1 міс до 6 міс	0,75
низький рівень актуальності персональних даних (LLA)	від 6 міс до 1 року	0,5
неактуальне персональних даних (NA)	від 1 року і давніше	0

Адміністративне повноваження учасника

Адміністративне повноваження учасника веб-спільноти – статус учасника віртуальної спільноти у веб-спільноті, який визначає роль конкретного учасника віртуальної спільноти у функціонуванні віртуальної спільноти. Здебільшого адміністративне повноваження визначає адміністратор віртуальної спільноти, базуючись на авторитеті учасника віртуальної спільноти та його поведінці у спільноті.

Переважно, веб-спільноти мають чіткий ієрархічний характер класифікації учасників. Зростання активності та авторитету сприяє підвищенню повноважень учасника, яке оцінюється неформально або за допомогою спеціальних рейтингів та голосувань, тобто при формуванні високого авторитету у віртуальній спільноті або ж адміністрацією спільноти.

Активність учасників віртуальних спільнот

Наступним параметром надійності результату процесу верифікації соціально-демографічних характеристик учасників віртуальних спільнот є активність учасників віртуальної спільноти – характеристика учасника веб-спільноти, яка визначається кількістю створених учасником дописів та дискусій за час перебування його у віртуальній спільноті.

Таблиця 5

Визначення адміністративного повноваження учасника веб-спільноти

Рівень	Пояснення	Значення
адміністратор	здебільшого власник віртуальної спільноти, який визначає специфіку функціонування віртуальної спільноти; учасник з найвищим статусом та непохитним авторитетом	1
модератор	учасник віртуальної спільноти з певним статусом та високим авторитетом, що зобов'язує його неухильно дотримуватись системи правил віртуальної спільноти та відслідковувати порушення цієї системи іншими учасниками віртуальної спільноти	0,75
учасник (дописувач)	зареєстрований користувач, який має можливість брати участь у віртуальній спільноті, створюючи дискусії, опитуванні та дописи	0,5
користувач (гість)	незареєстрований відвідувач віртуальної спільноти, який регулярно відслідковує появу нового інформаційного наповнення, але не має повноважень або має обмежені повноваження	0,25

Активність учасника веб-спільноти обчислюватимемо за формулою (4):

$$\text{Actv}^{(User_j)} = k_{Thread} * \frac{\text{count}(Thread^{(User_j)})}{\text{count}(Thread)} + k_{Post} * \frac{\text{count}(Post^{(User_j)})}{\text{count}(Post)} \quad (4)$$

де $\text{count}(X)$ – кількість елементів множини X ;

k_{Thread} та k_{Post} – вагові коефіцієнти активності, які отримуємо шляхом експертної оцінки з урахуванням комунікативної поведінки учасника та сценарію розвитку веб-спільноти;

$Thread^{(U_j)}$ – множина усіх дискусій, які створив i -й учасник;

$Thread$ – множина усіх дискусій;

$Post^{(U_j)}$ – множина усіх повідомлень, які створив i -й учасник;

$Post$ – множина усіх повідомлень, створених учасниками віртуальної спільноти. При чому, $\text{Actv}^{(User_j)} \in [0,1]$.

На основі отриманих результатів обчислень відбувається класифікація учасників віртуальної спільноти за рівнем їх активності:

Таблиця 6

Визначення рівня активності учасника віртуальної спільноти

Рівень	Пояснення	Значення
активний дописувач	систематично учасник створює велику кількість інформаційного наповнення – у найкращому варіанті, декілька дописів та тем дискусій кожного дня	1
частий дописувач	учасник регулярно підтримує дискусії та створює нові теми	0,6
епізодичний дописувач	учасник час від часу створює дописи та дискусії у віртуальної спільноти, тобто епізодична поява у веб-спільноті – рідко створює велику кількість інформаційного наповнення	0,3
пасивний дописувач	зареєстрований учасник, але не створив жодного допису чи дискусії або ж один чи два з цілю реклами товарів чи послуг	0

Система правил комунікативної поведінки учасників веб-спільнот

Система правил комунікативної поведінки учасників віртуальних спільнот – цілісний і погоджений між усіма власниками комплекс правил, що діють у віртуальній спільноті, сприяючи ефективному функціонуванню та об'єктивному адмініструванню веб-спільнотами. Здебільшого, це вимоги до створення інформаційного наповнення та оформлення облікового запису користувача віртуальної спільноти (у підписах, інтернет-іменах, статусах та юзербарів, юзерпіках). *Рівень дотримання системи правил віртуальної спільноти* – параметр, на основі якого адміністрація веб-спільноти розробляє та впроваджує санкції для порушників цієї системи правил. Рівень дотримання системи правил віртуальної спільноти визначаємо за формулою (5).

$$RulVc^{(User_j)} = h^{VCRul} * \left(1 - \frac{\sum_i k_i * Violation^{(VCRul)}}{N_j^{VCRul}} \right) \quad (5)$$

де k – вагові коефіцієнти кожного правила учасників віртуальної спільноти, які визначаються з урахуванням сценарію розвитку та призначення

веб-спільноти, а також рівнем шкоди порушення Violation^(VCRul) у роботі віртуальної спільноти, $\sum_i k_i = 1, k_i \geq 0$;

h^{VCRul} – параметри жорсткості системи правил віртуальної спільноти, який встановлюється експертами (при $h^{VCRul} = 1$ у віртуальній спільноті запроваджено системи правил віртуальної спільноти з найвищим ступенем жорсткості, $h^{VCRul} \in [0,1]$);

N_j^{VCRul} – кількість правил, які формують систему правил віртуальної спільноти.

Таблиця 7

Визначення рівня дотримання системи правил віртуальної спільноти

Рівень	Термін оновлення	Значення
високий рівень	адміністрація віртуальної спільноти сформувала та опублікувала жорстку систему правил віртуальної спільноти та слідкує за дотриманням цих правил усіма учасниками віртуальної спільноти, модератори ретельно відслідковують порушення цих правил; вживають відповідні санкції до порушників	$0,75 < \max \leq 1$
середній рівень	система правил віртуальної спільноти є недосконалою, але існує і опублікована у віртуальній спільноті. Модератори слідкують за дотриманням системи правил, але не вимагають дотримання цієї системи всіма учасниками віртуальної спільноти	$0,25 < \text{avg} \leq 0,75$
низький рівень	система правил віртуальної спільноти як така відсутня, модерація відбувається на розсуд модераторів, які часто виходячи за межі правил віртуальної спільноти	$0 \leq \min \leq 0,25$

Чим вищий рівень дотримання системи правил комунікативної поведінки користувачів веб-спільноти, тим вища ефективність функціонування веб-спільноти. Проте, наявність такої системи не означає, що веб-спільнота знаходиться під цілковитим контролем та учасники неухильно дотримуються правил цієї системи, але дає більше шансів для швидкого та якісного модерування веб-спільноти.

Апробація методів визначення інформаційної забезпеченості системи верифікації даних віртуальних спільнот з медичної спеціалізації

Верифікація персональних даних учасників зумовила перехід веб-спільнот на якісно новий етап функціонування, де пріоритетом користуються активні веб-учасники, які надають персональні дані з великим рівнем надійності та достовірності. Розроблені методи апробовано на п'яти віртуальних спільнотах з медичної спеціалізації. Підбір віртуальних спільнот з медичною спеціалізацією здійснено, зважаючи на пріоритети функціонування веб-спільноти, які власники визначають на етапі створення проекту, базуючись на обраній тематиці та сценарію розвитку спільноти. Обчислені параметри інформаційної забезпеченості системи верифікації даних віртуальних спільнот з медичної спеціалізації наведені на Рис. 1 та у Табл. 8.

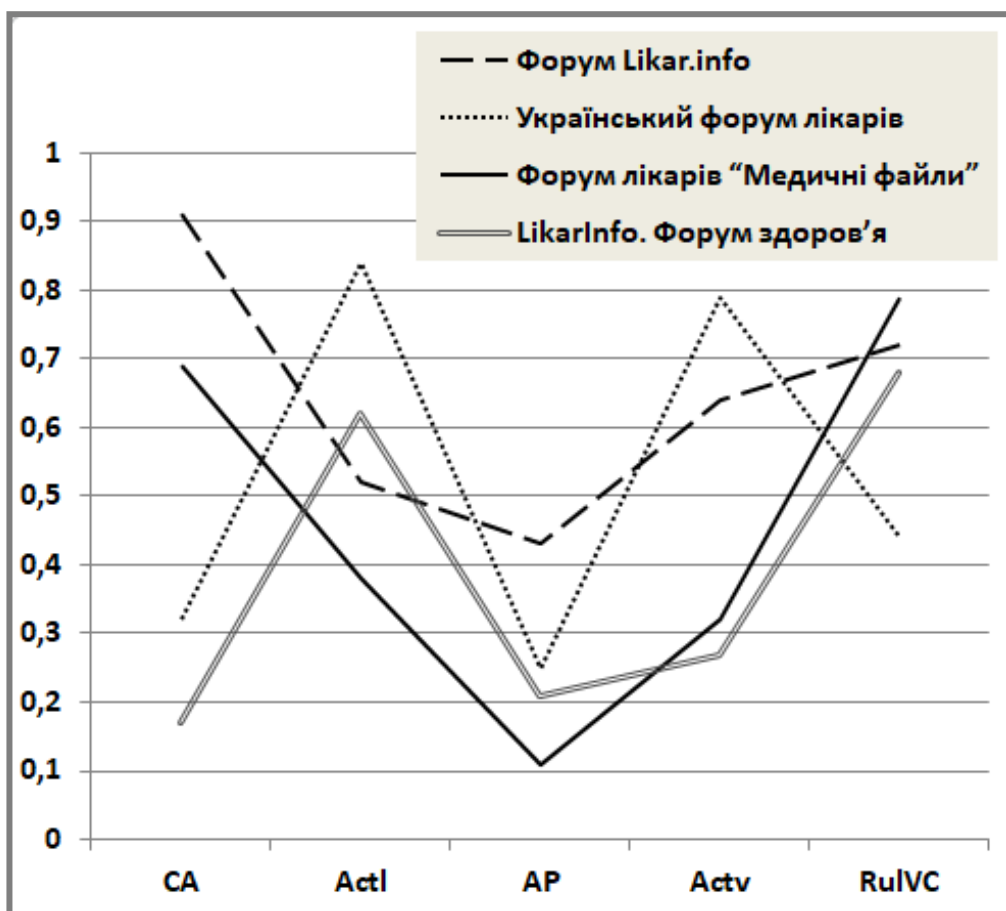


Рис. 1. Графік параметрів інформаційної забезпеченості системи верифікації даних віртуальних спільнот з медичної спеціалізації

**Таблиця параметрів інформаційної забезпеченості системи верифікації
даних віртуальних спільнот з медичної спеціалізації**

Параметри інформаційного забезпечення системи	Форум Likar.info	Український форум лікарів	Форум лікарів “Медичні файли”	LikarInfo. Форум здоров’я
Рівень заповнення облікових записів $CA^{(User_j)}$	0,91	0,32	0,69	0,17
Рівень актуальності даних облікових записів та контенту $Actl^{(PD,C)}$	0,52	0,84	0,38	0,62
Адміністративні повноваження веб- учасників $AP^{(User_j)}$	0,43	0,25	0,11	0,21
Рівень активності веб-учасників $Actv^{(User_j)}$	0,64	0,79	0,32	0,27
Рівень дотримання правил віртуальної спільноти $RulVc^{(User_j)}$	0,72	0,44	0,79	0,68

Пріоритети функціонування віртуальної спільноти її власники визначають на етапі створення проекту, що залежить від обраної тематики та сценарію розвитку спільноти. Зважаючи на це, експертами визначено вагові коефіцієнти інформаційного забезпечення системи верифікації даних для кожної віртуальних спільнот з медичною спеціалізацією. У табл. 9 наведено вагові коефіцієнти інформаційного забезпечення системи верифікації даних для таких віртуальних спільнот з медичною спеціалізацією: Форум Likar.info, Український форум лікарів, Форум лікарів “Медичні файли” та LikarInfo. Форум здоров’я.

Таблиця вагових коефіцієнтів інформаційного забезпечення системи верифікації даних віртуальних спільнот з медичної спеціалізації

Вагові коефіцієнти інформаційного забезпечення системи	Форум Likar.info	Український форум лікарів	Форум лікарів “Медичні файли”	LikarInfo. Форум здоров’я
k_1 коефіцієнт $CA^{(User_j)}$	0,07	0,21	0,21	0,22
k_2 коефіцієнт $ActI^{(PD,C)}$	0,21	0,32	0,32	0,34
k_3 коефіцієнт $AP^{(User_j)}$	0,12	0,18	0,18	0,16
k_4 коефіцієнт $Actv^{(User_j)}$	0,48	0,06	0,06	0,14
k_5 коефіцієнт $RuVc^{(User_j)}$	0,12	0,23	0,23	0,14

Вагові коефіцієнти інформаційного забезпечення системи верифікації даних віртуальних спільнот з медичної спеціалізації зображено на рис. 2.

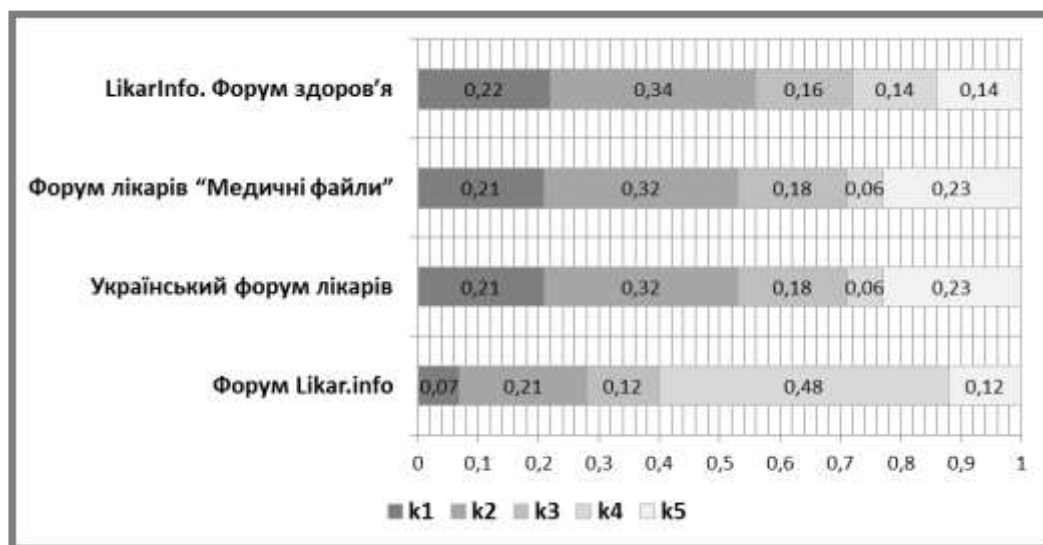


Рис. 2. Графік вагових коефіцієнтів інформаційного забезпечення системи верифікації даних віртуальних спільнот з медичної спеціалізації

Використавши розроблений метод, визначено інформаційну забезпеченість системи верифікації даних користувачів медичних віртуальних спільнот, що представлено у графічному вигляді на рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден..**

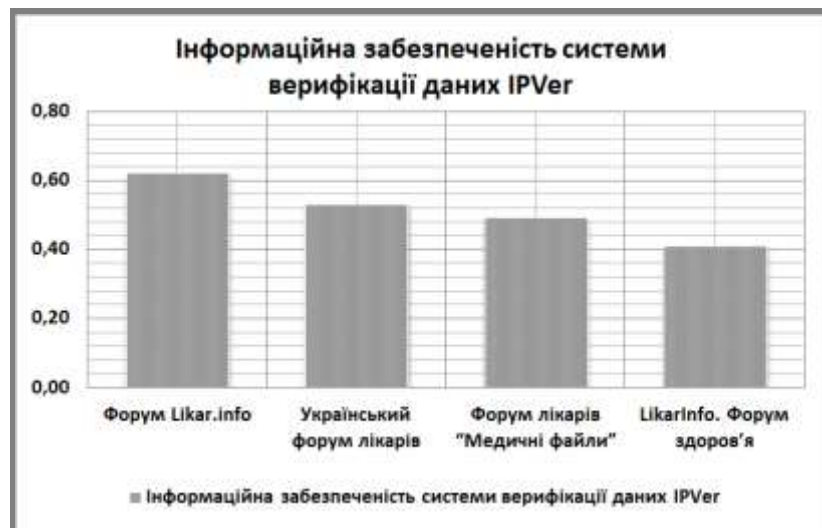


Рис. 3. Графік рівня інформаційної забезпеченості системи верифікації даних віртуальних спільнот з медичної спеціалізації

З отриманих результатів видно, що Форум Likar.info та Український форум лікарів мають високий рівень інформаційної забезпеченості, а інформаційна забезпеченість Форум лікарів “Медичні файли” та LikarInfo. Форум здоров’я є на середньому рівні для верифікації персональних даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. R. Korzh, A. Peleshchyshyn, Yu. Syerov, and S. Fedushko, “University’s Information Image as a Result of University Web Communities’ Activities”, *Advances in Intelligent Systems and Computing: Selected Papers from the International Conference on Computer Science and Information Technologies*. Springer, Volume 512, pp. 115-127, 2017.
2. I. Korobiichuk, S. Fedushko, A. Juś, and Y. Syerov, “Methods of Determining Information Support of Web Community User Personal Data Verification System”, *Automation 2017. ICA 2017. Advances in Intelligent Systems and Computin.*, Vol. 550, pp. 144-150, 2017.
3. Yu. Syerov, S. Fedushko, and Z. Loboda, Determination of Development Scenarios of the Educational Web Forum. Proc. of the XIth International Scientific and Technical Conference (CSIT 2016). pp. 73-76, 2016.
4. S. Fedushko, H. Biluschak, Yu. Syerov. “Statistical Methods of Virtual Community Users Age Verification”, *International Journal of Mathematics and Computational Science*, Vol. 1, No. 3, p.174-182, 2015.
5. Yu. Syerov, O. Trach, and S. Fedushko, “Effect of Implementation of improved Methods of the Life Cycle Stages Organisation to the Online Community Management”, *International Journal of Computational Research and Development*, Vol. 1, Issue 1, pp. 1-5, 2016.

3.7. Основи теорії оптимізації радіоелектронних вимірювачів

Вступ і постановка задачі

В метрології існують методи вимірювань, які відповідають певним законам фізики і виконують функцію порівняння параметра, що вимірюється з відповідним еталоном або з його часткою. Для радіоелектронних вимірювань це – самий точний нуль-метод, а також різницевий метод, функціональний метод – прямопоказувальні пристрої, метод заміщення, ноніусний метод та інші. Але цих методів вже недостатньо для радіоелектронних вимірювань, де потрібні: 1) точність оцінки, 2) точність апріорних даних, 3) швидкість, або час вимірювань, 4) довірча ймовірність зістиковки шкал, 5) відношення потужностей сигналу до шуму, 6) вартість для оптимізації систем, 7) метод синтезу систем із загальних позицій і тощо.

Ці проблеми (оптимізації вимірювальних систем) пропонується вирішувати завдяки використанню узагальнюючого виразу для одержання кривих обміну якостей за Гуткіним Л.С. [1], який виявив таку особливість їх оптимального рішення, що якщо поступово змінювати показники обмеження і вирішувати задачу за головним показником, то отримується взаємозалежність між оптимальними показниками – крива обміну. Таку ж криву обміну можливо використовувати, як результат оптимізації ряду задач [3 – 5], методом сепарабельного програмування, де рішення отримані в аналітичному вигляді.

Отже, для задач оптимізації вимірювальних систем та отримання кривих обміну, цільову функцію для них можна знайти для всіх типів вимірювачів. Задачі оптимізації будуть сформовані, якщо знайти обмеження за вартістю, піковою потужністю і тощо.

Таким чином, формулювання узагальненого показника якості вимірювальних систем з єдиних позицій є актуальною науковою задачею.

Основна частина

Вимірювач – це перетворювач значень вимірюваної величини у значення відлику у напрузі (для автоматики) або у цифровому вигляді. Роль вимірювачів грають також аналогові та цифрові детектори, дискримінатори, перетворювачі параметрів у складі системи автоматичного управління (САУ) або у складі каналу супроводження за параметром. У разі супроводження швидкість вимірювання і перебудови САУ повинна бути не менше швидкості зміни процесу. Вимірювання або перетворення будь-якого параметра реалізується на основі відповідної функціональної залежності відлику від вимірюваної

величини за відомим законом природи. При цьому потребується найбільша чутливість вимірювача до параметра, що вимірюється. Тому частіше для вимірювання частоти сигналу використовується чутливе явище резонансу, для вимірів кутів – діаграма спрямованості (ДС), для вимірів затримки часу – імпульс або його фронти, для вимірів затримки випадкових процесів – автокореляційну функцію і т.д. Ці залежності беруться з відповідних сигнальних функцій або з їх частин і комбінацій. Залежність для перетворення у відлік зветься шкалою. Точкова оцінка вимірювання за шкалою є результатом її порівняння з відповідним еталонним значенням. Шкала має бути достатньо стабільною у розмірі і за настройкою. Тоді відлік відповідає заданій середньоквадратичній похибці, яка в процентах зветься класом точності.

Найпоширені функціональні вимірювачі, де закон перетворення у вигляді функціональної залежності, іноді зветься "прямопоказуючі" вимірювачі. Шкала може бути лінійною або ні. Лінійна більш бажана, тому що середня похибка не змінюється за вією шкалою. Для цього і, головне, для того, щоб виявити важливий взаємозв'язок показників якості вимірювачів, розглянемо рисунок 1.

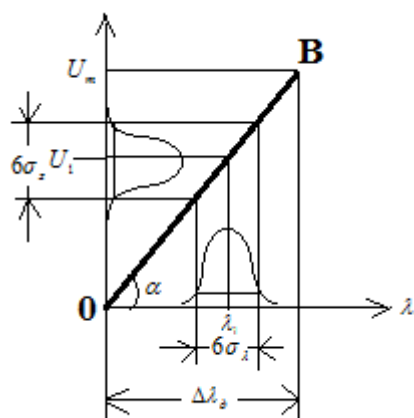


Рис. 1. Характеристика 0В – шкала вимірювача, де:

$6\sigma_z$ – довірчий інтервал завади; $6\sigma_\lambda$ – довірчий інтервал параметру,
 $U_m, U_1, \lambda_1, \Delta\lambda_d$ – відповідно: діапазон відликів, відлік, оцінка параметра та
 апертура (діапазон) вимірювача

Знайдемо показники якості вимірювача. Точність буде постійною, якщо характеристика 0В лінійна (рис. 1). Якщо вимірюється параметр λ_1 , то на виході з'явиться напруга U_1 . Але вимірювання отримується із завадою. Знаючи точність вимірювання, визначаємо довірчий інтервал $6\sigma_z$ і $6\sigma_\lambda$.

З рисунку 1 зрозуміло, що справедливе відношення:

$$6\sigma_\lambda = 6\sigma_\tau = \frac{6\sigma_3}{\operatorname{tg}\alpha}.$$

$$\text{Звідси: } \sigma_\lambda^2 = \frac{\sigma_3^2}{\operatorname{tg}^2\alpha} = \frac{\sigma_3^2}{(U_\lambda^1)^2}. \quad (1)$$

$$\text{Або: } \sigma_\lambda^2 = \frac{\sigma_3^2}{U_m^2} = \frac{(\Delta\lambda_d)^2}{q} = \frac{(\Delta\lambda_d)^2}{\frac{P_m}{N_0\Pi}}, \quad (2)$$

де $q = \frac{U_m^2}{\sigma_3^2} = \frac{P_m}{P_3} = \frac{P_m}{N_0\Pi}$ – відношення потужностей максимуму сигналу до

завади, N_0 – спектральна щільність завади, Π – смуга частот вимірювача.

З виразів (1) та (2) можливо зробити наступні висновки.

1. Точність вимірювання будь-якого параметра λ сигналу не залежить від коефіцієнта підсилення приймача. Однак, його вибирають не довільно, а таким, щоб рівень вихідного сигналу, що повинний бути відомим, відповідав шкалі кінцевого вимірювального пристрою.

2. Точність вимірювання параметра λ сигналу як величина зворотна дисперсії погрішності прямо пропорційна відношенню сигнал/шум q .

3. Дисперсія оцінки σ_λ^2 відповідно до виразу (2) пропорційна квадрату апертури дискримінатора. Тому для досягнення високої точності (малой дисперсії σ_λ^2) варто прагнути до зменшення апертури $\Delta\lambda_2$ дискримінатора.

4. Точність вимірювача зростає також при зменшенні ширини спектра сигналу. Ось чому фазові вимірювання вважаються найбільш точнішими.

5. Вираз (2) зв'язує всі показники якості для цих вимірювачів. Після введення обмежень це будуть криві обміну якостей вимірювачів за [1].

Можна показати, що для оптимального вибору вимірювача, його якостей, структури і алгоритму достатньо п'яти показників: 1) точності; 2) апріорного діапазону; 3) часу вимірювання, що обмежується смугою Π ; 4) надійністю (або квантілем) підстройки або стиковки шкал; 5) рівнем сигналу, або відношенням потужностей сигналу до завади, або вартістю.

Вираз (2) є основою для логічного зв'язку існуючих і нових методів розвитку радіоелектронних вимірювачів з будь-якими якостями і діапазонами вимірювання: дискримінаторні вимірювачі; пошукові або панорамні вимірювачі; багатоканальні вимірювачі; багатошкальні вимірювачі; багатоетапні вимірювачі; цифрові вимірювачі; комбіновані вимірювачі.

Далі подані результати досліджень якості розповсюджених дискримінаційних вимірювачів, які можуть входити до кривої обміну і які є основою для використання в більш складних системах.

Вимірювачі можуть бути окремі або у складі відповідних каналів і САУ.

Цінність (2) у тому, що результати носять універсальний характер та є основою оптимізації і відносяться до будь-якого параметру, що вимірюється.

Аналіз існуючих альтернативних теорій вимірювань показав, що в літературі за темою теорії радіоелектронних вимірювань зустрічаються як метод функціоналу правдоподібності (ФП) за Вудвордом Ф.М. [2] і поняття "потенційної" точності вимірювань, що викликають питання, так і фрагменти теорії радіоелектронних вимірювачів, де нема центральної ідеї оцінки якостей для побудови вимірювачів, а також відсутній системний аналіз впливу суттєвих факторів, діючих на вимірювачі. Помилка Вудворда Ф.М. та його послідовників у тому, що він міркував: *природно вважати, що параметр λ_n (затримка у часі), який передавався, відомий*, а параметр у суміші – невідомий параметр.

Але цього припущення робити не можна! Різниці параметрів у сигналі і у суміші сигналу з шумом не повинна бути, тому що ця різниця суміші і сигналу повинна дорівнювати шуму. Тобто, у сигналі в суміші і у сигналі, що віднімається параметр повинен бути один і той же. Інакше не буде нормального розподілу шуму, що призводить до такого *парадоксу*. Відомо, що сигнал повинен бути значно більшим шуму. Тому при такій підміні параметрів слабкий шум підмінюється великою різницею потужних сигналів з різними параметрами. Це означає неправильне призначення різниці параметрів, з якої можна отримати і некоректно отриману функцію автокореляції (ФСК) сигналу. Для отримання якої не потрібен ФП, тому що відома узгоджена фільтрація.

Далі *головна помилка послідовників*: звідсіля можна (але неправомірно) отримати алгоритм вимірів, "потенціальну" точність, "оптимальні" сигнали і параметри для складних і різних векторних моделей параметрів і сигналів.

Не підтримують такий ФП також наступні факти: в вимірювачах, що слідкують, взагалі необов'язково використовувати автокореляційну функцію сигналу та ще при її максимальному значенні; цифрові вимірювачі також працюють за іншими принципами; багатошкільні вимірювачі взагалі не вкладаються у ці теорії; підвищення точності вимірювань затримки сигналу напевне залежить від ширини спектру, але це зрозуміло не з цієї теорії потенціальної точності, а з фактом підвищення крутизни фронтів сигналу на виході приймача. Взагалі у метрології крутизну шкали називають чутливістю, а вона визначає точність вимірювань. А крутизна найбільша не у центрі

автокореляційної функції.

Розглянемо поняття “потенційної точності” в радіоелектроніці, яке вступає в протиріччя з існуючими методами вимірювання. В існуючих роботах доведено, що це поняття недоцільно використовувати для оцінки точності у радіовимірювальних системах. Однак, показано, що поняття “потенційної точності” вимірювання має сенс, але лише для задач визначення точності розрізнення сигнальних функцій:

$$\sigma^2 = \frac{1}{q\psi''(0)}, \quad (3)$$

де q – відношення сигнал/шум; $\Psi(\lambda) = \Psi(0)\psi(\lambda)$ – сигнальна функція; $\Psi(0)$ – максимум сигнальної функції, $\psi''(\lambda)$ – друга похідна від нормованої сигнальної функції у максимумі.

Однак, (3) не діє для звичайного прямокутного сигналу, для якого $\psi''(0)$ безкінечна. Тоді, для розрізнення сигнальних функцій (СФ) потрібно мати форму сигналу за типом перевернутої кнопки. Але (3) можливо використовувати для оцінювання здвигу сигналу за часом або за кутами для розрізнювання сигналів у радіолокаторах.

Сигнальна функція – гострий відлік сигналу на виході приймача. При вимірюванні параметра затримки часу у якості СФ може бути, наприклад, вихідний сигнал у формі автокореляційної функції, для параметрів кутів, що виміряні, розташування об’єкту – може бути огинаюча вихідного сигналу за ДС, для частоти, що вимірюється, використовується резонансний ефект і тощо. Візьмемо усічений ряд Тейлора:

$$\Psi(\lambda) = \Psi(\lambda_0) + \Psi'(\lambda_{\text{щ}})(\lambda - \lambda_0) + \Psi''(\lambda_0) \frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2!} + \dots$$

Верхівку СФ апроксимуємо квадратичною залежністю в околиці параметру λ_0 , утримуючи з точністю в 1 % сталу крутизну квадратичного члена в інтервалі $\Delta\lambda \leq 0,03 \frac{\Psi''}{\Psi''}$. При цьому лінійний член $\Psi'(\lambda_0)(\lambda - \lambda_0) = 0$ за визначенням, і $\Psi''(\lambda_0) < 0$. Фізична модель передбачає наявність двох цілей, коли одна СФ настроєна на λ_0 , а друга – на λ_1 , або це одна СФ при деякій розстройці параметра λ_1 на інерційному екрані, яку слід визначити. Отже, сумісний вплив СФ має наступний вигляд:

$$\Psi_0(\lambda - \lambda_0) + \Psi_1(\lambda_1 - \lambda) = \Psi_0(\lambda_0) + \Psi_1(\lambda_1) -$$

$$-|\Psi_0''(\lambda_0)| \frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2!} - |\Psi_1''(\lambda_1)| \frac{(\lambda_1 - \lambda)^2}{2!} \quad (4)$$

Найбільший розмір прогалини, що віднімається, маємо при:

$$\lambda_{\min} = \frac{\Psi_0''\lambda_0 + \Psi_1''\lambda_1}{\Psi_0'' + \Psi_1''} \quad (5)$$

Ідеальний спостерігач при наявності завади зможе оцінити зсув параметра λ_1 відносно λ_0 , при умові, що розмір прогалини (від'ємна частина (4) у загальній СФ при деякій розстройці стане не менше фону шумів, що розглядається. Оцінимо зсув параметра СВ при появі прогалини при $\lambda = \lambda_{\min}$ в умовах наявності шумів з наступного виразу:

$$-|\Psi_0''(\lambda_0)| \frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2!} - |\Psi_1''(\lambda_1)| \frac{(\lambda_1 - \lambda)^2}{2!} = \sigma_{\text{ш}}^2.$$

Оскільки $\lambda_{\min} - \lambda_0 = \frac{\lambda_1 - \lambda_0}{2}$, $\lambda_1 - \lambda_{\min} = \frac{\lambda_1 - \lambda_0}{2} = \frac{\Delta\lambda}{2}$, при можливому лівому відхиленні λ_1 буде $2\Delta\lambda = \sigma_\lambda$. Тоді при $\Psi_0'' = \Psi_1''$, запишемо (4) у вигляді:

$$\Psi_0''\sigma_\lambda^2 = \sigma_{\text{ш}}^2, \text{ або } \sigma_\lambda^2 = \frac{\sigma_{\text{ш}}^2}{\Psi_0''} = \frac{\sigma_i^2}{\Psi(0)\psi''(0)} = \frac{1}{q|\psi''|} \quad (6)$$

Звідси слідує, що, якщо спостерігати параметр λ за положенням максимуму СФ, то можливо оцінити її зсув за параметром з точністю (6) лише при виявленні прогалини. Таке спостереження у техніці (автоматиці) зветься: за принципом “максимуму”, або екстремальним регулюванням. Це відомо також, наприклад, при “полюванні на ліс” у радіоспорті. Але таке спостереження: не дає оцінки боку відхилення; має значну похибку за (6), рисунок 2.

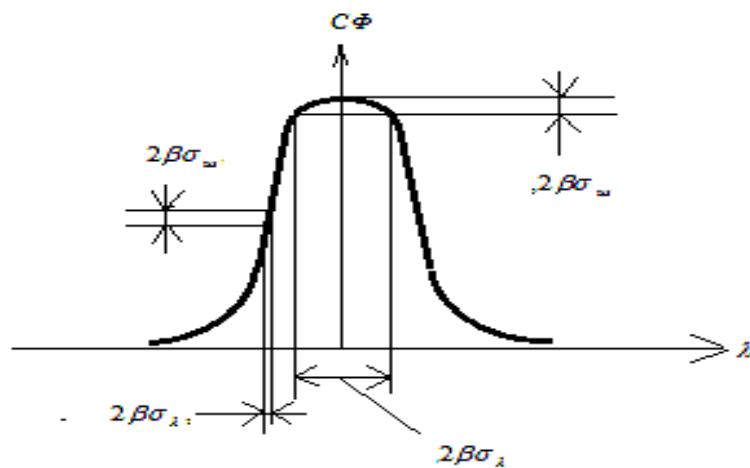


Рис. 2. Довірчі інтервали

На рисунку 2 зображені довірчі інтервали відповідно шуму та оцінки параметру $2\beta\sigma_{\text{ш}}, 2\beta\sigma_{\lambda}$, для двох варіантів настройки СФ (екстремальне оцінювання гірше методу оцінювання параметру при більшій боковій крутизни СФ). Зрозуміло, що з метою оцінювання параметра краще мати найбільшу чутливість (на рівні найбільшої крутизни СФ) ніж екстремальне спостереження за СФ. Таким чином, можливо стверджувати наступне:

- екстремальне спостереження найбільш корисне для розрізнення цілей, а для оцінки параметру воно не діє тому, що найбільша чутливість і точність має бути при оцінці за найбільшою крутизною;
- похибка параметру для розрізнення може розраховуватись за (6), якщо відома кривизна СФ;
- завдяки (6), з точки зору розрізнення, бажано мати СФ з найбільшою кривизною у максимумі, але при цьому потрібна небажано велика смуга частот для часового процесу, велика антенна для кутового процесу, і велика добротність резонансу для частотного процесу.

Розглянемо *фактор узгодженості апріорного діапазону вимірювача з його фізичним діапазоном*, тобто, з апертурою двоканального дискримінатора, коли $2\beta_{\text{ал}}\sigma_{\text{ал}} < 2\Delta\lambda_{\text{д}}$, де $\beta_{\text{ал}}$ – апріорний квантіль апріорного діапазону $\Delta\lambda_{\text{д}}$, який дорівнює $2\beta_{\text{ал}}\sigma_{\text{ал}}$ та менше фізичного діапазону $2\Delta\lambda_{\text{д}}$, тобто менше апертури двоканального дискримінатора (рис. 3).

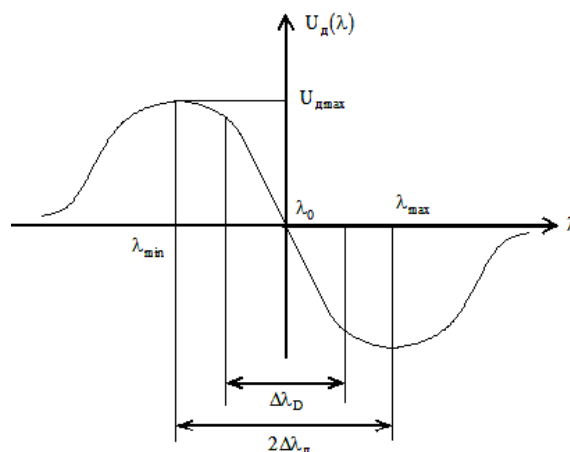


Рис. 3. Апріорний діапазон менше апертури дискримінатора

В цьому випадку рівень сигналу більше потрібного. Тому можна зменшити розстройку між каналами так, щоб діапазони зрівнялися, і тим самим майже безплатно збільшити крутизну дискримінатора і його точність. Якщо

уявити, що апріорний діапазон $\Delta\lambda_D$ перевищує фізичний діапазон, то в цьому випадку можлива неоднозначність вимірювань. Єдине оптимальне узгодження апріорного діапазону параметра, що вимірюється з його фізичним діапазоном буде лише при їх рівності $2\beta_{a\lambda}\sigma_{a\lambda} = \Delta\lambda_D = 2\Delta\lambda_\delta$. Це “невелика оптимізація”.

Аналогічним чином при узгодженні частотної смуги Π зі спектром сигналу (1). Це оптимальність значення смуги приймача або фільтра за Сифоровим.

Можливість використання апріорних даних

За (2) можливо підключити також апріорні дані:

$$\sigma_\lambda^2 = \frac{2\beta_{a\lambda}^2 \sigma_{a\lambda}^2}{q}. \quad (7)$$

Відомо, що, якщо мати апріорний гаусів розподіл ймовірності, то можна підвищити точність вимірювань. Для уточнення оцінки параметра λ потребується обчислювати зважену оцінку при гаусових розподілах $p(\lambda)$ і $p_a(\lambda)$:

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_a^{-2}\lambda_a + \sigma_\lambda^{-2}\lambda}{\sigma_a^{-2} + \sigma_\lambda^{-2}}, \quad (8)$$

тоді точність зваженої оцінки підвищиться на значення апріорної точності σ_a^{-2} :

$$\sigma_1^{-2} = \sigma_a^{-2} + \sigma_\lambda^{-2} = \sigma_a^{-2} \left(1 + \frac{\beta_{a\lambda}^{-2}}{2} q_1 \right). \quad (9)$$

Це ще більш узагальнена крива (9), включає апріорні дані. При $q > 20\beta^2$ уточняти обчислення нема сенсу, оскільки точність підвищується лише на 10 %. Це оптимум за типом насичення.

Таким чином, апріорні відомості можуть представляти собою результат вимірювань на попередньої шкали. Недолік слідкуючих дискримінаторів у зрівнянні з неслідкуючими дискримінаторами – наявність динамічної похибки.

Вплив змін рівня сигналу на точність оцінювання

Практично всі радіотехнічні дискримінатори мають ту особливість, що найбільша напруга (відлік) на виході дискримінатора, коли параметр знаходиться на межах його апертури, пропорційна амплітуді вхідного сигналу, у тому числі після обмежників і стабілізаторів його амплітуди. Щоб оцінити вплив змін амплітуди сигналу, припустимо, що немає стабілізаторів і обмежників амплітуди, і визначимо, як це вплине на похибку дискримінатора.

Нехай маємо дискримінаторну характеристику $U_d(\lambda)$, у якій максимальне значення U_{dm} відповідає амплітуді вхідного сигналу S_{m2} (рис. 4). Якщо

амплітуда вхідного сигналу зміниться і стане S_{m1} , то дискримінаторна характеристика стане крутіше і її максимум стане дорівнювати U_m . Це приведе до похибки оцінки параметра сигналу λ . Дійсно, якщо на виході дискримінатора є напруга U_λ і відсутня флуктуаційна завада, то ми вважаємо, що вимірюваний параметр дорівнює λ_1 , маючи на увазі, що нам відомий колишній рівень сигналу. А насправді рівень сигналу став S_{m1} , крутість дискримінаторної характеристики стала більше і напрузі U_λ відповідає параметр сигналу λ_2 .

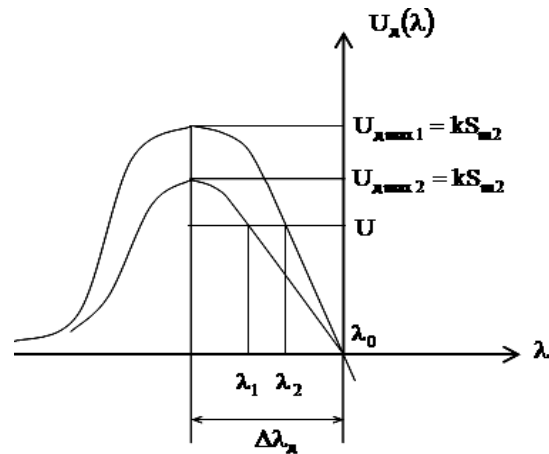


Рис. 4. Вплив рівня сигналу на вимірювання

Отже, похибка в оцінці параметра λ дорівнює:

$$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2 = \Delta\lambda_\partial \frac{U_\lambda}{U_m} - \Delta\lambda_\partial \frac{U_\lambda}{U_{m1}}.$$

Тоді:

$$\Delta\lambda = \lambda_\partial U_\lambda \left(\frac{1}{U_m} - \frac{1}{U_{m1}} \right) = \Delta\lambda_\partial \frac{U_\lambda}{U_m} \left(1 - \frac{U_m}{U_{m1}} \right).$$

Якщо рівень сигналу U_m – випадкова величина, то дисперсія σ_2^2 , похибки $\Delta\lambda$ параметра сигналу за рахунок випадкової зміни амплітуди сигналу буде:

$$\sigma_{\lambda(AM)}^2 = \Delta\lambda_\partial^2 \left(\frac{U_\lambda}{U_m} \right)^2 \hat{\sigma}_{U_m}^2, \quad (10)$$

де $\hat{\sigma}_{U_m}^2 = \left(\frac{\sigma_u}{U_m} \right)^2$ – відносна дисперсія амплітуди сигналу.

Таким чином, максимальна дисперсія $\sigma_{\Delta\lambda(AM)}^2$ похибки оцінки λ відповідає $U_\lambda=U_m$ і дорівнює: $\max_{\{U_\partial\}} \sigma_{\lambda(AM)}^2 = \Delta\lambda_\partial^2 \hat{\sigma}_{U_m}^2$.

Нехай дисперсія $\sigma_{\lambda(AM)}^2$ похибки $\Delta\lambda$ (за рахунок незнання сигналу) не перевищує дисперсію вимірювань за рахунок впливу флуктуаційних завад. Тоді одержимо вимогу до точності стабілізації амплітуди сигналу:

$$\sigma_{\lambda(MM)}^2 \leq \sigma_{\lambda}^2, \quad (11)$$

звідси:

$$\Delta\lambda_{\partial}^2 \hat{\sigma}_{U_m}^2 \leq \frac{\Delta\lambda_{\partial}^2}{q},$$

або:

$$\hat{\sigma}_{U_m}^2 \leq \frac{1}{q}. \quad (12)$$

Одержаний ще один додаток (12) до кривої (2). Отримані співвідношення (11) і (12) дозволяють зробити наступні висновки.

1. Найменший вплив зміни амплітуди на похибку дискримінаційних вимірювань виявляється при малому відхиленні параметра від центрального настроювання дискримінатора λ_0 , тобто при малому U_d . Звідси зрозуміло, що для боротьби з впливом зміни рівня сигналу найкраще використовувати вимірювач, що стежить, у якого відслідковується параметр λ . Однак, навіть для дискримінатора, що стежить, стабілізація амплітуди сигналу необхідна через те, що динаміка її зміни може позначатися на якості спостереження за параметром λ .

2. Стабілізація амплітуди сигналу (вимірювання її з відносною точністю):

$$\hat{\lambda}_{U_m}^2 \leq \frac{1}{q},$$

дозволяють не враховувати похибку за рахунок незнання амплітуди сигналу. При цьому відносна дисперсія стабілізації амплітуди порівняна з відносною дисперсією флуктуаційної складової похибки дискримінаційного вимірювача:

$$\left(\frac{\sigma_{\lambda}}{\Delta\lambda_{\partial}} \right)^2 = \hat{\sigma}_{U_m}^2 = \frac{1}{q}.$$

Це означає, що дискримінатор, який не стежить, за умови (12), практично не поступається за точністю дискримінатору, який стежить, при однаковій ефективній смузі пропускання частотних фільтрів. Перевагою дискримінаторів, що стежать, у порівнянні з дискримінаторами, які не стежать, є менший вплив зміни амплітуди сигналу, а перевагою дискримінаторів, які не стежать, у порівнянні з дискримінаторами, що стежать, є відсутність динамічної похибки вимірів параметра сигналу, пов'язаної з перестроюванням дискримінатора і динамікою змін параметрів сигналу в часі.

На криві обміну дискримінаційних вимірювачів значний вплив оказує точність настройки шкал, тобто, точність здвигу начала шкали.

Вплив точності настройки дискримінатора

Дисперсія похибки вимірювань $\sigma_{C\lambda}^2$ при наявності гаусового шуму на вході [3] і незалежного гаусового розподілу настройки дорівнює:

$$\sigma_{C\lambda}^2 = \sigma_{\lambda}^2 + \sigma_{H\lambda}^2, \quad (13)$$

де σ_{λ}^2 – дисперсія похибки дискримінатора; $\sigma_{H\lambda}^2$ – дисперсія похибки настройки дискримінатора.

З урахуванням апріорної дисперсії σ_0^{-2} гаусової щільності розподілу ймовірності результуюча точність дорівнює:

$$\sigma_{T\lambda}^{-2} = \sigma_0^{-2} + \sigma_{C\lambda}^{-2}, \quad (14)$$

Відомо, що дисперсія похибки дискримінатора при точній настройці шкали дорівнює:

$$\sigma_{\lambda}^2 = \frac{\Delta\lambda_{\partial}^2}{2q},$$

де $2\Delta\lambda_{\partial}$ – апертура дискримінатора, тобто, робочий діапазон параметра λ , що забезпечує однозначність вимірювань; q – відношення сигнал/флуктуаційний шум на виході дискримінатора.

Умова спряження апертури дискримінатора з апріорним діапазоном повинно мати вигляд:

$$2\Delta\lambda_{\partial} = 2\beta_0\sigma_0 + 2\beta_H\sigma_H, \quad (15)$$

де β_0 і β_H – відповідно квантілі апріорного розподілу і розподілу настройки; σ_H^2 – дисперсія настройки дискримінатора.

Підставляючи (15) у (14) і полагаючи однаковими квантілі $\beta_H = \beta_0$, отримуємо співвідношення для визначення дисперсії похибки вимірювань:

$$\sigma_{C\lambda}^2 = \sigma_H^2 + \frac{2\beta_0^2(\sigma_0 + \sigma_H)^2}{q}. \quad (16)$$

Тоді, використовуючи (14) і (16), визначимо результуючу точність вимірювань $\sigma_{T\lambda}^{-2}$ з урахуванням апріорного розподілу:

$$\sigma_{T\lambda}^{-2} = \sigma_0^{-2} + \left[\sigma_H^2 + \frac{2\beta_0^2(\sigma_0 + \sigma_H)^2}{q} \right]^{-1}. \quad (17)$$

Для аналізу (17) розглянемо випадок, коли $\sigma_H \ll \sigma_0$.

Тоді, позначив $\frac{\sigma_{\Gamma\lambda}^{-2}}{\sigma_0^{-2}} = A$, отримуємо:

$$A - 1 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_H^2 + \frac{2\beta_0^2}{q} \sigma_0^2} = \frac{1}{\frac{\sigma_H^2}{\sigma_0^2} + \frac{2\beta_0^2}{q}}. \quad (18)$$

З (18) зрозуміло, що при будь-якому q виграш в точності A не перевищує співвідношення $\frac{\sigma_0^2}{\sigma_H^2} + 1$. Це означає, що наявність випадкової настройки робить зовсім недоцільним підвищення енергетичного потенціалу радіолінії або каналу більше відношення $\frac{5\sigma_0^2}{\sigma_H^2}$. Цей оптимум також визначений за принципом достатності. При $\frac{q}{2\beta_0^2} = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_H^2}$ виграш у точності складатиме:

$$A = \frac{1}{2} \frac{\sigma_0^2}{\sigma_H^2} + 1.$$

Таким чином, при побудові вимірювальної системи забезпечення енергетичного потенціалу q , більшого величини $\frac{2\beta_0^2 \sigma_0^2}{\sigma_H^2}$, недоцільно. При цьому краще прийняття мір для зменшення дисперсії настройки дискримінатора σ_H^2 до величини, яка дозволяє досягти виграш A , що вимагається.

При малому σ_H , коли $\frac{\sigma_H^2}{\sigma_0^2} \ll \frac{2\beta_0^2}{q}$, виграш у точності складає $A \approx \frac{q}{2\beta_0^2} + 1$, тобто, повністю визначається енергетичним потенціалом q і довірою до оцінки, тобто квантілем β_0 , який визначає довірчий апріорний інтервал параметра λ .

Для будь-яких значень σ_0 , σ_H і q вираз (18) можна представити у більш простій формі, якщо позначити: $a = \frac{\sigma_0}{\sigma_H}$ і $q_E = \frac{q}{2\beta_0^2}$, тоді:

$$A - 1 = \frac{a^2}{1 + \frac{(a+1)^2}{q_E}} = \frac{a^2 q_E}{(a+1)^2 + q_E}. \quad (19)$$

З (19) зрозуміло, що вплив параметрів a^2 і q_E на виграш у точності A для

$a > 10$ практично однаковий. Отже, дійсно:

$$(A-1)^{-1} = \left(1 + \frac{1}{a}\right)^2 \frac{1}{q_E} + \frac{1}{a^2} \cong \frac{1}{q_E} + \frac{1}{a^2}. \quad (20)$$

Сепарабельність (20) може бути корисним для задач оптимального синтезу дискримінаційного вимірювача за критерієм точності при обмеженнях на умови його реалізації в апаратурі за вартістю, піковою потужністю і тощо.

Якщо дискримінаційний вимірювач використовується на i -му етапі або на i -й шкалі багатоетапного (багатошкального) вимірювача, то (20) прийме вигляд:

$$A_i = \frac{\sigma_i^{-2}}{\sigma_{i-1}^{-2}} = 1 + \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{a_i}\right)^2 \frac{1}{q_{Ei}} + \frac{1}{a_i^2}}, \quad (21)$$

де $a_i = \frac{\sigma_{i-1}}{\sigma_{Hi}}$, та $q_{Ei} = \frac{q_i}{2\beta_{i-1}^2}$.

Для усіх шкал звичайно механізм настройки дискримінації, її розподіл і дисперсія σ_{Hi}^2 однакові $\sigma_{Hi}^2 = \sigma^2$. Тоді $a_0 > \dots > a_i > \dots > a_n$.

Тому, якщо $a_n > 5$ і $q_{Ei} > 5$, то з похибкою $< 20\%$ маємо:

$$A_i \approx \frac{1}{\frac{1}{q_{Ei}} + \frac{1}{a_i^2}}. \quad (22)$$

Виграш у точності n -етапної (n -шкальної) системи з урахуванням випадковості настройки прийме вигляд:

$$A_{n(n)} = \prod_{i=1}^n A_i = \left[\prod_{i=1}^n \left(\frac{1}{q_{Ei}} + \frac{1}{a_i^2} \right) \right]^{-1}, \quad (23)$$

або:

$$A_{n(n)} = \prod_{i=1}^n \left[\frac{q_{Ei}}{1 + \frac{q_{Ei}}{a_i^2}} \right]. \quad (24)$$

При однаковому енергетичному потенціалі шкал, коли $q_{Ei} = q_E$ можливо спростити (24) до вигляду:

$$A_{n(n)} = \frac{q_E^n}{\prod_{i=1}^n \left(1 + \frac{q_E}{a_i^2} \right)}. \quad (25)$$

$$\text{Оскільки: } a_i^2 = \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_n} \right)^2 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_n^2 q_E^i} = \frac{a_1^2}{q_E^i}, \text{ тоді: } A_{n(n)} = q_E^n \left[\prod_{i=1}^n \left(1 + \frac{q_E^{i+1}}{a_1^2} \right) \right]^{-1}.$$

Якщо $\frac{q_E^n}{a_1^2} \ll 1$, тоді маємо:

$$A_{n(n)} \cong \frac{q_E^n}{1 + \frac{q_E}{a_1^2} \prod_{i=1}^n q_E^i} \cong \frac{q_E^n}{1 + \frac{q_E}{a_1^2}} = \frac{A_n}{1 + \frac{q_E}{a_1^2}}. \quad (26)$$

Це означає, що результуючу точність вимірювань погіршує в основному сама точна (n-а) шкала із-за випадковості настройки.

Отримані співвідношення для результуючої точності вимірювань в умовах апріорної невизначеності настройки дискримінатора дозволяють оцінити вплив вказаних факторів або використати ці співвідношення в *кривих обміну* в задачах оптимізації вимірювальних систем та каналів.

Частіше потрібно враховувати і мати в кривій обміну такої властивості як зменшення часу вимірювання за рахунок збільшення енергетичного потенціалу.

Залежність часу спостереження сигналу від його рівня

Нехай буде задана якість виявлення параметру сигналу, що визначається ймовірністю. Їй відповідає мінімальне відношення сигнал/шум q_d , яке потрібно для порівняння з порогом із заданою надійністю. Більше його значення добре, але практично не дуже потрібне. Тому що реалізація надлишкового енергетичного потенціалу потребує додаткових витрат. Це принцип достатності, принцип У. Оккама [5], при якому недоцільно чимось жертвувати – немає потреби. Але якщо можна за рахунок надлишкової енергії значно підвищити будь-яку якість вимірювача, то це зможе бути доцільним.

Доцільність не завжди очевидна. Наприклад, якщо при пошуку за кутами є надлишкове відношення сигнал/шум q , то вона може бути за рахунок підвищення рівня потужності сигналу передавача або за рахунок підвищення коефіцієнту спрямованої дії (КСД). А також і те, і інше. Перший спосіб дає можливість зменшення часу встановлення (виявлення) сигналу, а другий спосіб – призводить до зменшення апертури кутового дискримінатора – ДС і до зростання часу пошуку. Тут є можливість компромісного рішення.

При вимірюванні затримки сигналу пошуковим методом при перестройці автокореляційної функції, чим більший її час кореляції (ширина ФАК), або тривалість елементів послідовного складового сигналу, при тієї ж енергії, тим менший її рівень. Тут також є можливість компромісного рішення.

При вимірюванні частоти панорамним методом розширення частотної смуги пропускання фільтру може по різному впливати на потужність сигналу та шуму на виході для підсилювачів з контурами, що настроюються або з контурами, що розстроюються. Тому не ясно, як поведе себе час наростання сигналу у каналі. Але при цьому треба турбуватися і про точність. Усі показники якості зв'язані між собою і оптимальне рішення є відповідним загальним компромісом. Знайдемо ці зв'язки для згаданого випадку. У припущенні, що огинаюча пред'явленого імпульсу близька до прямокутної, то час виявлення сигналу при даному енергетичному потенціалі q_d можливо записати у вигляді:

$$t_b = \frac{1}{\Pi} \ln \frac{1}{1 - \frac{U_{пор}}{k_0 U_d}} = \frac{1}{\Pi} \ln \frac{1}{1 - \frac{1}{2k_0}}, \quad (27)$$

де $U_d = 2U_{пор}$; U_d – достатній рівень амплітуди сигналу, що забезпечує заданий рівень ймовірності похибки виявлення сигналу; $U_{пор}$ – пороговий рівень; U_m – максимальний рівень амплітуди сигналу більший достатнього, за рахунок якого можна зменшити час встановлення t_b рівня сигналу у перехідному процесі при перевищенні достатнього рівня амплітуди сигналу U_d і при заданій ймовірності

похибки виявлення сигналу; $k_0 = \frac{U_m}{U_d} = \sqrt{\frac{q}{q_d}}$ – коефіцієнт перевищення

достатнього рівня амплітуди сигналу U_d максимальним рівнем U_m ;

$2\Pi = \Delta\omega_k$, $p_n = p_n(q_d)$ – ймовірність похибки виявлення сигналу; $q_d = \frac{U_d^2}{U_{ш}^2}$ –

відношення сигнал/шум достатнє для досягнення заданої ймовірності похибки виявлення; $q > q_d$ – відношення сигнал/шум, більше, ніж q_d , що призначене для зменшення часу встановлення відліку у системі виявлення сигналу T_b .

Залежність відносного часу виявлення сигналу при надлишковій амплітуді сигналу (при $k_0 > 1$) представлено на рисунку 5, де $T_b \Pi = \frac{T_b}{t_{и}}$.

Тобто, це відношення означає, наскільки можна скоротити час T_b очікування на пороговому пристрої рівня сигналу для його виявлення, який дорівнює q_d , при заданому надлишку k_0 рівня сигналу над пороговим рівнем на вході системи. Зменшенням часу виявлення (відліку) сигналу за рахунок

надлишкового енергетичного потенціалу, при тієї ж заваді, можна зменшити час виявлення сигналу на кожному елементі пошуку, якщо збільшувати швидкість сканування апертури дискримінатору у апіорному діапазоні. При цьому швидкість, або умова "повільного" пошуку (27), повинна зберігатись.

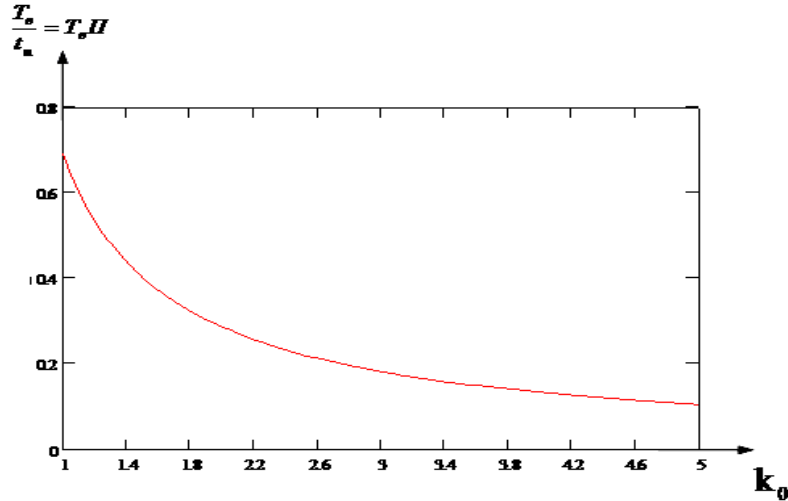


Рис. 5. Скорочення часу виявлення сигналу

Наприклад, збільшення енергетичного потенціалу удвічі призводить при тієї ж смузі до збільшення удвічі швидкості наростання сигналу на виході фільтру або системи. А, значить, час досягнення того ж порогу практично удвічі менший. При пошуку широкосмугових шумоподібних сигналів з великим їх рівнем можна обмежитися частковою кореляцією, використовуючи частину періоду сигналу, якщо показники якості допустимі.

З урахуванням пошуку сигналу в діапазоні залежність (27) часу оцінювання пошуковим методом, або часу оцінювання t_n , від зазначених показників якості вимірювачів можна представити також у вигляді:

$$t_n = \frac{2\beta_a D_{a\lambda}^{1/2}}{2\Delta\lambda_\rho \Pi} \ln \left(\frac{\sqrt{\frac{q}{q_d}}}{\sqrt{\frac{q}{q_d} - 1/2}} \right). \quad (28)$$

Можна зауважити, що у (28) враховані усі п'ять згаданих показників якості, тобто, мінімальний склад показників, при якому вже можливо порівнювати методи вимірювання за їх ефективністю. Взаємозалежність показників якості у [5] називають кривими обміну, тому що з них видно, якими показниками можна платити за підвищення якості хоч би одного показника.

Для панорамного вимірювача частоти апертура дискримінатору за визначенням рівна смузі пропускання: $2\Delta\lambda_d = \Pi$. Тому час пошуку частоти зворотно пропорційний квадрату смуги пропускання. Відношення сигналу до шуму на виході системи [5] залежить від технічних параметрів наступним чином:

$$q = \frac{P_{\text{прд}} G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} \prod_{i=1}^n G_i(Y_i) \cdot k_1}{(4\pi R / \lambda)^2 N_0 \Pi (\text{Ш}_{\text{прм}} - 1 + t_A)}, \quad (29)$$

де $P_{\text{прд}}, G_{\text{прд}}, G_{\text{прм}}, G_i(Y_i)$ – відповідно потужність передавача, КНД передавальної та приймальної антен, функції від інших технічних параметрів та параметрів розстроек, збурень і неідеальностей схем; R, λ – відповідно відстань до цілі та довжина хвилі; $N_0, \Pi, \text{Ш}_{\text{прм}}, t_A$ – відповідно спектральна щільність шуму, смуга та коефіцієнт шуму приймача, відносна шумова температура антени.

Вплив відстані R на відношення сигналу до шуму і його використання розглянуто у [5]. Підвищувати (понижувати) відношення сигнал/шум можуть такі параметри пристроїв, що входять у (29): потужність передавача, КНД антен, амплітудно-частотна характеристика, автокореляційна схема обробки сигналу, а також зменшення відстані R [5] і підвищення довжини хвилі.

Визначення часу оцінки і врегулювання САУ при стеженні за параметрами

Якщо маємо систему супутникового зв'язку, то вона досить складна і вміщує інформаційні канали та вимірювальні канали управління системою. Для спрощення її побудови вона апаратно та сигнально суміщена. Тобто усі канали САУ апаратно реалізуються спочатку сумісно для складового сигналу високочасотною частиною системи, а потім розподіляються за каналами – за частотою або за часом при цифровому методі їх розподілу.

Розглянемо, який потрібний час регулювання конкретної САУ має бути, виходячи із потрібної смуги пропускання параметру задавального сигналу. При цьому час вимірювання задавального сигналу не повинен перевищувати час регулювання цього параметра. Швидкість вимірювань та регулювання задавального процесу параметра САУ повинна бути більшою швидкості зміни задавального параметра. Для визначення часу регулювання САУ з конкретним задавальним сигналом потрібен його системний аналіз. Теорема Котельникова В.А. [5] дозволяє знайти інтервал часу, на протязі якого задавальний процес суттєво не зміниться. Якщо допустити його суттєву зміну, то може бути спотворений процес регулювання, або його зрив.

Скористуємось першим способом визначення допустимого часу регулювання САУ t_p . Для цього достатньо знайти його найбільшу швидкість $\dot{X}(t)$. З формули Тейлора у першому наближенні можна чекати, що за час:

$$t_p = t_1 - t_0 = \frac{X(t_1) - X(t_0)}{\dot{X}(t_0)}, \quad (30)$$

процес $X(t)$ мало зміниться.

Допустимо, що за цей час задавальний сигнал зміниться на 5 %. Тоді (30) можна записати вигляд:

$$t_p = \frac{X(t_1) - 0,95X(t_0)}{\dot{X}(t_0)} \leq \frac{0,05X(t_0)}{\dot{X}(t_0)}, \quad (31)$$

Скористаємось другим способом визначення допустимого часу регулювання. Це умова неспотворення регулювання, яке може привести навіть до зриву супроводження будь-якого регулюємого параметра і до зворотньої роботи САУ. Вона взята з теорії амплітудного детектора: *швидкість процесу регулювання за час регулювання повинна бути більшою швидкості зміни параметра, що задається*. Процес регулювання залежить від вхідного сигналу та від передаточної функції САУ. Стандартним вхідним процесом може служити одинична функція включення (Хевісайта). Тоді умовою неспотворення вихідного сигналу може служити:

$$|\dot{Y}(t_p)| \geq |\dot{X}(t_p)|, \quad (32)$$

де t_p – найгірший випадок – інтервал часу регулювання; \dot{X} – максимальна швидкість процесу, що задається; $|\dot{X}(t_p)|$ – модуль похідної функції, що задається.

При цьому, як відомо, перехідна характеристика САУ знаходиться зворотним перетворенням Лапласа:

$$Y(t_p) = \frac{1}{2\pi j} \int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} K(p) \frac{X_0}{p} \exp(pt) dp, \quad (33)$$

де $K(p)$ – передаточна функція САУ; $\frac{X_0}{p}$ – перетворення Лапласу одиничної функції з амплітудою X_0 ; X_0 – значення задавального сигналу спочатку регулювання, або в кінці часу його спостереження.

Для аперіодичної ланки передаточну функцію можна записати у вигляді:

$$K(p) = \frac{1}{1 + pT}. \quad (34)$$

Перехідна функція аперіодичної ланки, визначається зворотним перетворенням Лапласа згідно (34): $h(t) = (1 - \exp(-\frac{t}{T}))$.

Тоді, цю умову можливо записати наступним чином:

$$\min \left| -\frac{X_0}{T} e^{-\frac{3T}{T}} \right| = \frac{X_0}{Te^3} \approx \frac{X_0}{3Te^2}. \quad (35)$$

В свою чергу: $|\dot{Y}(t_p)| = \frac{X_0}{3Te^2} = \frac{X_0}{t_p e^2} \geq |\dot{X}(t_p)|$.

Звідси: $t_p \leq \frac{|X_0|}{|\dot{X}(t_p)|e^2}. \quad (36)$

Таке співпадіння у першому наближенні результатів двох підходів (31) і (36). Це підвищує достовірність результату і дозволяє отримати значення допустимого часу регулювання за значенням швидкості задавального сигналу.

Умова неспотвореності супроводження параметра при $t = 3T$ виконується з деяким запасом, тому що вже при $t \geq 2T$ похибка регулювання мала і далі повільно зменшується.

Таким чином, при даному характері задавального процесу накладається жорстке обмеження до часу регулювання САУ. Особливо це важливо для відстеження таких параметрів, як кути руху, які потребують крім того великих силових навантажень для подолання інерції маси дзеркальних антен або їх опромінювачів, або великих затрат для фазованих антенних решіток. При цьому загострюється протиріччя інерція-точність.

Вимірювання – це теж інерційний процес. Тому час вимірювання також не повинен перебільшувати часу регулювання, щоб він не впливав на можливість спотворення регулювання. При пошуку задавального параметра час спостереження кожного елементу пошуку i є по суті часом вимірювання на першому етапі, за який сигнал росте до такого рівня, при якому забезпечується потрібна ймовірність виявлення сигналу. Виявлення сигналу – це результат вимірювання першого етапу і початок другий етапу більш точного вимірювання за рахунок підключення процесу регулювання, тобто стеження за параметром. Третім етапом вимірювань є згадування процесу самим об'єктом регулювання – генератором. Очищена задавальна частота управляемого генератора вимірюється часоімпульсним методом. Час вимірювання на першому етапі забезпечується як смугою пропускання радіофільтра на вході частотного або фазового детектора, так і відповідною смугою пропускання відеопроцесу

самого дискримінатора. Точність і еквівалентна смуга часо-імпульсного методу залежить від еталонного періоду підрахунку числа імпульсів.

Висновок

Запропоновано метод формування узагальненого показника якості вимірювальних систем. Показано, що такий показник справедливий для всіх типів дискримінаторних вимірювачів, а також як для вимірювачів і каналів будь-якого типу, так і для різних параметрів, що вимірюються.

Узагальнений показник якості вимірювальних систем легко доповнюється зв'язками з іншими показниками.

ЛІТЕРАТУРА

1. Л. С. Гуткин, “Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества”, М.: Высшая школа, 1974.

2. Ф. М. Вудворд, *Теория вероятности и теория информации с применением в радиолокации*, М.: Высшая школа, 1968.

3. Г. В. Алешин, и Ю. А. Богданов, *Эффективность сложных радиотехнических систем*, Київ: Вища школа, 2008.

4. Г. В. Алешин, *Оцінка якості інформаційно-вимірювальних систем*, Харків: Ранок, 2009.

5. Г. В. Алешин, *Ефективність інформаційно-вимірювальних радіотехнічних систем*, Харків: Ранок, 2005.

3.8. Символічні моделі фізичних процесів, що описуються інтегральним рівнянням Фредгольма першого роду

Постановка проблеми у загальному вигляді

Процес вимірювання сигналу вимірювальними перетворювачами і первинними датчиками описується математичною моделлю у вигляді інтегрального рівняння Фредгольма першого роду (ІРФПР). Розв'язати задачу відновлення сигналу для такого рівняння – означає знайти сигнал, спотворений вимірювальною апаратурою з відомою апаратною функцією. Крім задачі відновлення сигналів ІРФПР описується також широке коло інших обернених задач: задача відновлення зображень, задача редукції реального приладу до ідеального, задача розподілу електричного потенціалу всередині напівпровідника та ін. [1-4].

Актуальність теми полягає в тому, що дана задача є некоректною, а вимірювання експериментальних даних дає похибки, що викликають нестійкість розв'язку. Це в свою чергу вимагає застосування прийомів, які отримують розв'язок, стійкий до похибок.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Для розв'язання інтегральних рівнянь використовуються операційні методи, які дозволяють шляхом переходу з області оригіналів в область зображень перетворити інтегральні рівняння в алгебраїчні. Наприклад, широке застосування отримали інтегральні перетворення Лапласа і Фур'є. Проте інтегральні перетворення Лапласа використовуються в основному для лінійних рівнянь, що обмежує область їх застосування, а використання перетворень Фур'є у випадку нелінійних рівнянь ускладнено. Серед таких методів відомий операційний метод диференціальних перетворень (або основних диференціальних перетворень), основи якого були розроблені в роботах академіка Пухова Г.Є. [4]. Метод основних диференціальних перетворень дозволяє вирішити задачу в області з відсутнім часовим аргументом і звести складну задачу до більш простої задачі, яку можна достатньо легко розв'язати чисельними методами.

В роботі [1] розроблена диференціально-тейлорівська модель (ДТ-модель) задачі відновлення у спектроскопії, що дозволяє представити за допомогою диференціальних тейлорівських перетворень (ДТ-перетворень) з прийнятною точністю складну обернену задачу простішою моделлю, вираженою системою лінійних алгебраїчних рівнянь невеликої розмірності. Застосуємо цей підхід для моделювання задач математичної фізики, які

доцільно представляти ІРФПР, та продемонстровані переваги використання ДТ-перетворень на трьох різних моделях.

Виклад основного матеріалу.

Диференціальні тейлорівські перетворення (ДТ-перетворення) – це новий операційний метод, що на відміну відомих всім інтегральних перетворень Лапласа й Фур'є, заснований на переведенні оригіналів в область зображень за допомогою операцій диференціювання [4]. При математичному моделюванні фізичних об'єктів і процесів, які описуються диференціальними й інтегральними рівняннями, ДТ-перетворення дозволяють замінити операції інтегрування й диференціювання еквівалентними алгебраїчними операціями як у числовому так і в аналітичному вигляді. Математична модель системи у вигляді диференціальних або інтегральних рівнянь може бути перетворена в так звану спектральну або символічну модель. Спектральна модель звичайно уявляє собою систему кінцевих рівнянь, з якої знаходяться невідомі дискрети диференціального спектра. Правила знаходження диференціальних спектрів детально описано в роботі [4].

ДТ-перетворення – це перетворення вигляду:

$$X(k) = \frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k x(t)}{dt^k} \right]_{t=0} \cong x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H} \right)^k X(k), \quad (1)$$

де в лівій частині – пряме перетворення прообразу $x(t)$ в образ $X(k)$, а в правій – зворотне перетворення $X(k)$ в $x(t)$. Значення функції $X(k)$ при конкретних значеннях аргументу k названі дискретами ($X(0)$ – нульова дискрета, $X(1)$ – перша дискрета та ін.). Таким чином, математична модель системи у вигляді диференціальних або інтегральних рівнянь може бути перетворена в так звану спектральну модель. Спектральна модель звичайно представляє систему кінцевих рівнянь, з якої знаходяться невідомі дискрети диференціального спектра.

Процес вимірювання сигналу вимірювальними перетворювачами і первинними датчиками описується математичною моделлю у вигляді ІРФПР

$$\int_{\alpha}^{\beta} Q(x, s) \cdot y(s) ds = f(x), \quad x \in [\delta, \gamma], \quad s \in [\alpha, \beta]. \quad (2)$$

Розв'язати задачу відновлення сигналу для рівняння (2) – значить знайти сигнал $y(s)$, спотворений вимірювальною апаратурою з апаратною функцією $Q(x, s)$ у сигнал $f(x)$.

Відомо, що при математичному моделюванні фізичних об'єктів і процесів, які описуються ІРФПР (2), ДТ-перетворення дозволяють замінити операції інтегрування еквівалентними операціями алгебри як в чисельному, так і в аналітичному вигляді. Застосування ДТ-перетворень дозволяє побудувати чисельні схеми розв'язання задачі відновлення сигналів на основі ІРФПР (2).

Представимо розв'язок $y(s)$ у вигляді аналітичної функції $y(s)$, де $c=(c_1, c_2, \dots, c_n)$ – вектор вільних коефіцієнтів, наприклад, у вигляді степеневого поліному

$$y(s, c) = \sum_{m=0}^{m=n} c_m s^m, \quad (3)$$

де степінь багаточлена n вибирається з особливості конкретної задачі. Розв'язання (2) у такій постановці зводиться до знаходження коефіцієнтів c_m . Можна запропонувати різні апроксимації розв'язку $y(s)$. Від того, наскільки вдало вибрана апроксимуюча функція, залежить точність моделювання.

Перевішивши (3) в область ДТ-зображень, одержимо його зображення:

$$Y(k) = \sum_{i=0}^{i=n} C_i H^i(k-i). \quad (4)$$

Позначимо підінтегральну функцію в (2)

$$z(x, s) = Q(x, s) \cdot y(s). \quad (5)$$

Оскільки розв'язок $y(s)$ представлено у вигляді аналітичної функції $y(s)$, наприклад, у вигляді степеневого полінома (3), то для визначення системи рівнянь, що визначають невідомі коефіцієнти $c=(c_0, c_1, \dots, c_{n-1})$, застосуємо ДТ-перетворення (1). Зображення підінтегральної функції (5) визначимо як

$$Z(k, c) = Q(k) * Y(k, c) = \sum_{l=0}^{l=k} Q(k-l) \cdot Y(l, c) \quad (6)$$

Визначений інтеграл у межах α до β від функції $z(s)$ по її дискретам в області зображень $Z(0), Z(1), Z(2), \dots, Z(\infty)$ знаходиться за виразом:

$$\int_{\alpha_c}^{\beta_c} z(s) ds = \sum_{k=0}^{k=\infty} \left(\frac{\beta_c^{k+1} - \alpha_c^{k+1}}{k+1} \right) \frac{Z(k)}{H^k} = \frac{\beta_c - \alpha_c}{1} Z(0) + \frac{\beta_c^2 - \alpha_c^2}{2H} Z(1) + \dots \quad (7)$$

де $\alpha = \alpha_c - s_0$, $\beta = \beta_c - s_0$, s_0 – центр розкладання в ряд Тейлора. В окремому випадку $s_0=0$.

Послідовно привласнюючи значення x_i , $i=1,2,3,\dots$ з (2), (7), складемо систему рівнянь, кількість рівнянь якої дорівнює кількості невідомих коефіцієнтів $c=(c_0, c_1, \dots, c_{n-1})$:

$$\int_{\alpha_c}^{\beta_c} Z(s, c_i, x_1) ds = f(x_1);$$

....

$$\int_{\alpha_c}^{\beta_c} Z(s, c_i, x_{n+1}) ds = f(x_{n+1});$$
(8)

де x_i – фіксовані значення, що вибираються з діапазону меж вимірювання сигналів.

Розв'язуючи систему кінцевих рівнянь (8), знаходимо вектор вільних коефіцієнтів, компоненти якого визначають шуканий розв'язок рівняння Фредгольма першого роду (2). Отже, необхідно розв'язати СЛАР (8) з невідомими c_i , кількість яких залежить від степеня апроксимуючого полінома і від кількості точок розкладання.

Представимо алгоритм розв'язання ІРФПР (2) на основі його ДТ-моделі.

1. Розв'язок (2) шукається у вигляді апроксимуючої функції (3).
2. За початковим рівнянням (2) складається його ДТ-модель (7).
3. На основі формули (8) складається СЛАР, де невідомими є коефіцієнти c_i .
4. Оримана СЛАР розв'язується відносно c_i , які визначають невідому функцію $y(s)$.

Символічна модель розподілу електричного потенціалу всередині напівпровідника

Застосуємо ДТ-перетворення для розв'язання ІРФПР (2) з невідомою верхньою межею інтегрування та продемонструємо результати використання ДТ-перетворень на прикладі знаходження невідомої функції розподілу електричного потенціалу всередині напівпровідника за допомогою алгоритму розв'язання ІРФПР (2) на основі його ДТ-моделі (3)-(8).

Розглянемо напівпровідник, який знаходиться в зовнішньому електростатичному полі плоского конденсатора, напруга між пластинами якого V_0 . Розміри напівпровідника в напрямку силових ліній електростатичного поля L , причому $L_x \ll L_y$; $L_x \ll L_z$; $L_x \equiv L$, де L_y , L_z – розміри вздовж осей O_y і O_z відповідно. Можна вважати, що електричний потенціал всередині напівпровідника залежить тільки від x [4].

Розрахунок розподілу електричного потенціалу всередині напівпровідника в лінійному наближенні для кімнатних температур здійснено в [4]. Розподіл безрозмірного потенціалу $\varphi(x)$ дорівнює

$$\int_{V_0/2}^{\varphi(x)} \frac{dy}{\sqrt{2chy + C}} = -(x + L/2). \quad (9)$$

Для побудови ДТ-моделі постійну C можна визначити з рівняння

$$2 \int_0^{V_0/2} \frac{dy}{\sqrt{2chy + C}} = L, \quad (10)$$

при відомих L , V_0 .

Отже, рівняння (9) – ІРФПР роду з невідомою функцією верхньої межі інтегрування. Методів розв’язання цього рівняння відносно невідомої функції верхньої межі інтегрування не існує [4].

Застосуємо до рівняння (9) ДТ-перетворення: знаходимо ДТ-зображення лівої та правої частини, прирівнюємо їх та отримуємо рівняння відносно апроксимації $\varphi(x)$. Потім при заданих параметрах V_0 та L знаходимо значення константи C з рівняння (10).

Для цих же параметрів V_0 та L і знайденого значення константи C для певного значення координати з рівняння (9) визначаємо значення коефіцієнтів функції $\tilde{f}(x)$, яка апроксимує $\varphi(x)$.

В рівнянні (9) для спрощення запису введемо позначення $z(y) = 2chy + C$,

$$t(y) = \sqrt{z(y)} = \sqrt{2chy + C}, \quad n(y) = \frac{1}{t(y)} = \frac{1}{\sqrt{2chy + C}},$$

$$m(x) = -\left(x + \frac{L}{2}\right), \quad f(x) = \int_{x_0}^{\varphi(x)} \frac{1}{t(y)} dy.$$

Зображення функцій $z(y)$, $t(y)$, $n(y)$, $m(x)$, $f(x)$ позначимо відповідно $Z(k)$, $T(k)$, $N(k)$, $M(k)$, $F(k)$.

$$1) \text{ знаходимо } Z(k): z(y) = 2chy + C \cong Z(k) = 2 \cdot \frac{H^k}{k!} \sin^2 \frac{\pi k}{2} + C \cdot \delta(k).$$

$$\text{Для } k=0,1,2,3 \text{ отримаємо дискрети } Z(0) = C, \quad Z(1) = 2H, \quad Z(2) = 0, \quad Z(3) = \frac{H^3}{3}.$$

$$2) \text{ знаходимо } T(k): t(y) = \sqrt{2chy + C} \cong T(k) = \sqrt[2]{Z(k)} = \frac{Z(k) - \sum_{l=1}^k \sqrt[2]{Z(l)} \cdot \sqrt[2]{Z(k-l)}}{\sqrt[2]{Z(0)}}.$$

$$\text{Отримаємо дискрети } T(0) = \sqrt{C}, T(1) = \frac{H}{\sqrt{C}}, T(2) = -\frac{H^2}{2C\sqrt{C}}, T(3) = \frac{H^3 \cdot (C^2 + 3)}{6C^2 \sqrt{C}}.$$

$$3) \text{ знаходимо } N(k): n(y) = \frac{1}{\sqrt{2chy + C}} \cong N(k) = \left| \frac{\delta(k)}{T(k)} \right| = \frac{\delta(k) - \sum_{l=1}^k T(l) \cdot N(k-l)}{T(0)}.$$

$$\text{Отримаємо дискрети } N(0) = \frac{1}{\sqrt{C}}, N(1) = -\frac{H}{C\sqrt{C}}, N(2) = \frac{3H^2}{2C^2 \sqrt{C}}.$$

$$4) \text{ знаходимо } M(k): m(x) = -\left(x + \frac{L}{2}\right) \cong M(k) = -\left(H \cdot \delta(k-1) + \frac{L}{2} \cdot \delta(k)\right) = -H - \frac{L}{2}.$$

$$\text{Отримаємо дискрети } M(0) = -\frac{L}{2},$$

$$M(1) = -H, M(2) = M(3) = M(4) = \dots = 0, M(k) = \sum_{i=0}^3 M(i) = 0,45.$$

Для апроксимації $\varphi(x)$ обираємо лінійну функцію $\tilde{\varphi}_1(x) = ax$ та знаходимо

$$F_1(k): f(x) = \int_{x_0}^{ax} \frac{1}{t(y)} dy \cong F_1(k) = \int_{x_0 \delta(k)}^{aH\delta(k)} N(k) DT(k).$$

Отримаємо перші три дискрети

$$F_1(0) = -\frac{H}{\sqrt{C}} + \frac{Hx_0}{C\sqrt{C}} - \frac{3Hx_0^2}{2C^2 \sqrt{C}} + \frac{H^3 x_0^3 (C^2 + 15)}{6C^3 \sqrt{C}},$$

$$F_1(1) = \frac{Ha}{\sqrt{C}}, F_1(2) = -\frac{H^2 a^2}{2C\sqrt{C}}, F_1(3) = \frac{H^3 a^3}{2C^2 \sqrt{C}}.$$

Щоб визначити невідомий параметр a , прирівняємо перші дискрети правої частини $F(1)$ та лівої частини $M(1)$, та отримуємо значення $a = -\sqrt{C}$. Отже, $\tilde{\varphi}_1(x) = -\sqrt{C}x$.

Розраховуємо числові значення дискрет лівої частини $F(k)$:

$$F_1(0) = -0,00505, F_1(1) = -0,44336, F_1(2) = -0,00292, F_1(3) = -0,0000384,$$

$$F_1(0) + F_1(1) + F_1(2) + F_1(3) = -0,4513661.$$

При вигляді апроксимуючої функції $\tilde{\varphi}_1(x) = -\sqrt{C}x$ нев'язка $\varepsilon = 0,00137$.

Враховуючи нелінійність, виберемо інший вигляд апроксимуючої функції: $\tilde{\varphi}_2(x) = a_0x + a_1x^3$. Знаходимо $F_2(k)$: $f(x) = \int_{x_0}^{a_0x+a_1x^3} \frac{1}{t(y)} dy \cong F_2(k)$,

$$F_2(0) - \text{залишиться без змін, } F_2(1) = \frac{Na_0}{\sqrt{C}}, F_2(2) = -\frac{H^2 a_0^2}{2C\sqrt{C}}.$$

Прирівнюємо $F_2(1)$ і $M(1)$, $F_2(3)$ і $M(3)$. З отриманої системи рівнянь знаходимо a_0 і a_1 :

$$\begin{cases} \frac{Na_0}{\sqrt{C}} = -H \\ \frac{H^3 a_1}{\sqrt{C}} + \frac{H^3 a_0^3}{2C^2 \sqrt{C}} = 0 \end{cases}, a_0 = -\sqrt{C}, a_1 = \frac{1}{2\sqrt{C}}, \tilde{\varphi}_2(x) = -\sqrt{C}x + \frac{x^3}{2\sqrt{C}}.$$

Розраховуємо числові значення дискрет лівої частини $F(k)$:

$$F_2(0) = -0,00505, F_2(1) = -0,44336, F_2(2) = -0,00292, F_2(3) = -0,000004, \\ F_2(0) + F_2(1) + F_2(2) + F_2(3) = -0,4513236.$$

При вигляді апроксимуючої функції $\tilde{\varphi}_2(x) = -\sqrt{C}x + \frac{x^3}{2\sqrt{C}}$ нев'язка $\varepsilon = 0,00132$.

Зменшимо степінь апроксимуючої функції $\tilde{\varphi}_3(x) = a_1x + a_2x^2$ і отримаємо приблизно такі ж значення.

Тоді за використаною раніше схемою знаходимо $F_3(k)$:

$$f(x) = \int_{x_0}^{a_1x+a_2x^2} \frac{1}{t(y)} dy \cong F_3(k),$$

а з отриманих рівнянь визначаємо невідомі коефіцієнти: $a_1 = -\sqrt{C}$, $a_2 = -\frac{1}{2}$.

$$\text{Отже, } \tilde{\varphi}_3(x) = -\sqrt{C}x - \frac{x^2}{2}.$$

Розраховуємо числові значення дискрет лівої частини $F_3(k)$:

$$F_3(0) = -0,00505, F_3(1) = -0,44336, F_3(2) = -0,00351, F_3(3) = -0,000046, \\ F_3(0) + F_3(1) + F_3(2) + F_3(3) = -0,4519678.$$

При вигляді апроксимуючої функції $\tilde{\varphi}_3(x) = -\sqrt{C}x - \frac{x^2}{2}$ нев'язка $\varepsilon = 0,00197$.

Розглянемо апроксимацію верхньої межі в вигляді $\tilde{\varphi}_4(x) = a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$: $a_1 = -\sqrt{C}$, $a_2 = 0,5$, $a_3 = 0$. Отже, даний вигляд апроксимації зводиться до попереднього: $\tilde{\varphi}_4(x) = -\sqrt{C}x + \frac{x^2}{2}$.

Розраховуємо числові значення дискрет лівої частини $F_4(k)$:

$$F_4(0) = -0,00505, F_4(1) = -0,44336, F_4(2) = -0,00232, F_4(3) = -0,000031,$$

$$F_4(0) + F_4(1) + F_4(2) + F_4(3) = -0,4507644.$$

При вигляді апроксимуючої функції $\tilde{\varphi}_4(x) = -\sqrt{C}x + \frac{x^2}{2}$ нев'язка $\varepsilon = 0,00076$.

Можна припустити, що з такими початковими даними можна апроксимувати багаточленом $\sum_{i=1}^n a_i t^i$, при умові $a_1 \neq 0$, що зумовлено виглядом функції $\varphi(x)$.

Отримані апроксимації практично співпадають, а це свідчить про те, що отримана ДТ-модель ІРФПР з невідомою функціональною залежністю в верхній межі прийнятно апроксимує початкову фізичну модель.

Таким чином, розроблена символічна ДТ-модель ІРФПР, де невідомим є функція верхньої межі інтегрування. Використання ДТ-перетворень дозволяє звести розв'язування складної задачі до простішої, рішення якої можна виконати на звичайних засобах обчислювальної техніки.

Символічна модель ОЗКТ для визначення теплофізичних характеристик деталей вузлів транспортних засобів

Проблема дослідження теплового стану двигунів на стадії їх проектування, експлуатації та модернізації, перегріву гальмівних колодок та опорів, букс, підшипникових вузлів транспортних засобів вирішується давно. Основними методами визначення теплофізичних характеристик є методи, засновані на розв'язанні обернених задач теплопровідності. В цьому випадку рівняння теплопровідності є диференціальним рівнянням в частинних похідних параболічного типу [3].

Розглядається обернена коефіцієнтна задача теплопровідності (ОКЗТ):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (11)$$

з краєвими умовами: а) Діріхле: $T(y, t)|_{y=S(t)} = \bar{T}_w$,

б) Неймана: $-\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y}\right)|_{y=S(t)} = \rho \bar{V}_\infty c(\bar{T}_w - T_0) = \rho \bar{V}_\infty H(\bar{T}_w)$.

Завдання полягає в визначенні коефіцієнта температуропровідності а.

Актуальність даної теми полягає в тому, що дана задача є некоректною, а вимірювання експериментальних даних дає похибки, що викликають нестійкість розв'язку. Це в свою чергу вимагає застосування прийомів, які дадуть стійкий до похибок розв'язок.

В роботі [3] представлений вираз для розрахунку температурного поля:

$$T(y, t) = T_0 + (\bar{T}_w - T_0) \cdot e^{-hy + h^2 at}. \quad (12)$$

В проведених розрахунках було прийнято табличне значення $a=6 \cdot 10^{-7}$. Незважаючи на свою простоту дана модель нестійка до похибок: якщо внести похибку для змінної y в розмірі 12,5%, похибка a становитиме 28,3%. Запишемо задачу (11) в інтегральній формі:

$$T(y, t) = \sum_{j=1}^m \int_0^t dt \int_{R^{n-1}} G_j(t - \tau, y - \zeta) g_j(\tau, \zeta) d\zeta, \quad (13)$$

де t – число граничних умов, G_j – ядро Пуасона, $g_j(\tau, \zeta)$ – права частина умови.

В [3] розраховано ядро Пуасона для задачі Діріхле, підставивши в яку дані, отримаємо $G_1(y, t) = \frac{1}{2\sqrt{a \cdot \pi \cdot t^3}} \cdot \exp\left(-\frac{|y|^2}{4at}\right)$.

Для задачі Неймана $G_2(y, t) = -\sqrt{\frac{a}{\pi t}} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{4at}\right)$.

Підставляємо дані в вираз (13) і отримуємо розв'язок задачі (11) в інтегральній формі:

$$T(y, t) = \int_{S(t)}^{y_s} \int_0^t \frac{1}{2\sqrt{a\pi(t-\tau)^3}} \cdot \exp\left(-\frac{(y-\xi)^2}{4a(t-\tau)}\right) \cdot T_w d\tau d\zeta - \int_{S(t)}^{y_s} \int_0^t \sqrt{\frac{a}{\pi(t-\tau)}} \cdot \exp\left(-\frac{(y-\xi)^2}{4a(t-\tau)}\right) \cdot \rho \bar{V}_\infty c(\bar{T}_w - T_0) d\tau d\zeta, \quad (14)$$

де $0,00229 \leq \zeta \leq 0,00377$, $0 \leq \tau \leq 19$.

Отже, порівнюємо (12) і (14) і отримуємо рівняння:

$$\int_{0.00229}^{0.0037719} \int_0 \frac{1195}{\sqrt{a \cdot \pi \cdot (t - \tau)^3}} \cdot e^{\frac{-(y-\zeta)^2}{4a(t-\tau)}} d\tau d\zeta - \int_{0.00229}^{0.0037719} \int_0 \frac{9,201 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{a}}{\sqrt{\pi \cdot (t - \tau)}} \cdot e^{\frac{-(y-\zeta)^2}{4a(t-\tau)}} d\tau d\zeta =$$

$$= T_0 + (\bar{T}_w - T_0) \cdot e^{-hy+h^2at}. \quad (15)$$

З нього далі визначимо коефіцієнт a за допомогою алгоритму розв'язання ІРФПР (2) на основі його ДТ-моделі (3)-(8).

Така форма ОКЗТ у вигляді (15) складна, тому застосовуємо символічний метод для спрощення.

Застосуємо двічі одновимірні зміщені ДТ-перетворення до лівої частини рівняння спочатку відносно змінної τ , а потім відносно змінної ζ . Знаходимо нульову, першу та другу дискрети підінтегральної функції з умови Діріхле по τ за формулою, де t_c – точка зміщення:

$$X_c(k) = \frac{H^k}{k!} \left[\frac{d^k x(t_c + \tau)}{d\tau^k} \right]_{\tau=0}. \quad (16)$$

Отримаємо ДТ-зображення внутрішнього інтеграла по τ :

$$i_1(a, y, t, \zeta) = \int_{\tau_1}^{\tau_2} x(a, y, t, \tau, \zeta) d\tau = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\tau_2^{k+1} - \tau_1^{k+1}}{H^k} \cdot \frac{X_c(k)}{k+1}. \quad (17)$$

Застосовуємо до підінтегральної функції $i_1(a, y, t, \zeta)$ зовнішнього інтегралу зміщені ДТ-перетворення (16), але вже відносно аргумента ζ , попередньо згрупувавши коефіцієнти. Потім застосовуємо формулу (17) з точкою зміщення ζ_c і отримуємо вираз для зовнішнього інтегралу:

$$i_2(a, y, t, \zeta_c, t_c) = (\zeta_2 - \zeta_1) \cdot e^{D(a,t,t_c)(y-\zeta_c)^2} \times$$

$$\left(A_1(a, t, t_c) \cdot (y - \zeta_c)^4 + B_1(a, t, t_c) \cdot (y - \zeta_c)^2 + \right.$$

$$\left. + C_1(t, t_c) \right) + \frac{\zeta_2^2 - \zeta_1^2}{2} \cdot (y - \zeta_c) \cdot e^{D(a,t,t_c)(y-\zeta_c)^2} \times$$

$$\times \left(-2D(a, t, t_c) \left(A_1(a, t, t_c) \cdot (y - \zeta_c)^4 + \right. \right.$$

$$\left. \left. + B_1(a, t, t_c) \cdot (y - \zeta_c)^2 + C_1(t, t_c) \right) - 4A_1(a, t, t_c) \cdot (y - \zeta_c)^2 - 2B_1(a, t, t_c) \right) \quad (18)$$

Аналогічним чином отримуємо зображення $i_2'(a, y, t, \zeta_c, t_c)$ для інтеграла з умовою Неймана, воно буде аналогічним апроксимаційній моделі (18), тільки з коефіцієнтами $A_2(a, t, t_c)$, $B_2(a, t, t_c)$, $C_2(t, t_c)$.

Отже, в результаті рівняння представляється в вигляді:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left(\frac{1195}{\sqrt{a \cdot \pi}} \cdot i_2(a, y, t, \zeta_j, t_i) - \frac{9,201 \cdot 10^5 \cdot \sqrt{a}}{\sqrt{\pi}} \cdot i_2'(a, y, t, \zeta_j, t_i) \right) =$$

$$= T_0 + (\bar{T}_w - T_0) \cdot e^{-hy+h^2at}.$$

Результати розв'язування рівняння (15) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати розв'язування рівняння (15)

n	m	y	a
21	1	0,004	5,87
12	1	0,0041	5,75
21	1	0,0045	5,23
12	1	0,0045	5,12

Як видно з таблиць розв'язки досить чутливі до кількості проміжків розбиття по τ і майже нечутливі до кількості проміжків розбиття по ζ .

За допомогою ДТ-перетворень отримана стійка до похибок експериментальних даних символічна модель, придатна для дослідження теплофізичних характеристик деталей вузлів транспортних засобів.

Символічна модель ОКЗТ для визначення теплофізичних характеристик теплозахисних матеріалів аерокосмічних транспортних засобів

Розробимо стійку до похибок в початкових даних символічну модель на основі ДТ-перетворень для визначення теплофізичних характеристик матеріалів, зокрема коефіцієнту температуропровідності для ОКЗТ, що описує високотемпературний режим з унесенням маси розплавленої речовини.

У цьому випадку при відсутності фізико-хімічних перетворень у матеріалі або для визначення ефективних теплофізичних характеристик за допомогою ОКЗТ звичайно використовується рівняння теплопровідності у вигляді [5]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right), \quad (19)$$

де ρ – щільність, кг/м³; c – теплоємність, кДж/(кг К); τ – час нагрівання, с; T – температура, К; y – координата від вихідної поверхні, м, λ – теплопровідність, Вт/(м·К).

Для розв'язання ОКЗТ у вигляді (19) використаємо аналогічні прийоми (11)-(18), побудувавши символічну ДТ-модель. ОКЗТ (19) також представимо для зручності в інтегральній формі. З нього далі визначимо коефіцієнт a за допомогою алгоритму розв'язання ІРФПР (2) на основі його ДТ-моделі (3)-(8).

В результаті ДТ-моделювання отримується вираз, аналогічний (14), очевидно, з іншими початковими умовами:

$$T(y, t) = \int_{S(t)}^{y_s} \int_0^t \frac{T_w e^{\frac{-(y-\zeta)^2}{4a(t-\tau)}}}{2\sqrt{a\pi}(t-\tau)^3} d\tau d\zeta - \int_{S(t)}^{y_s} \int_0^t \frac{(\bar{T}_w - T_0) \cdot c \cdot \rho \cdot \bar{V}_\infty \cdot \sqrt{a} e^{\frac{-(y-\zeta)^2}{4a(t-\tau)}}}{\sqrt{\pi}(t-\tau)} d\tau d\zeta. \quad (20)$$

Отже, початкову ОКЗТ (19) будемо представляти виразом (20), де маємо дві частини рівняння, зліва – відома функція, праворуч різниця подвійних інтегралів, які представляють собою умови Діріхле і Неймана. В рівнянні (20) невідомий коефіцієнт теплопровідності, який необхідно знайти, розв'язуючи ОКЗТ. Для цього застосуємо диференціальні перетворення спочатку до першого інтегралу, а потім – до другого.

Побудова ДТ-моделі задачі теплопровідності.

А. Побудова апроксимаційних функцій для першого інтегралу виразу (20):

$$I_1 = \int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{T_w e^{\frac{-(y-\zeta)^2}{4a(t-\tau)}}}{2\sqrt{a\pi}(t-\tau)^3} d\tau d\zeta = D_1 \int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{e^{\frac{-(y-\zeta)^2}{4a(t-\tau)}}}{\sqrt{(t-\tau)^3}} d\tau d\zeta, \quad D_1 = \frac{T_w}{2\sqrt{a\pi}}. \quad (21)$$

Інтеграл I_1 послідовно будемо розглядати при $\zeta = \text{const}$ для внутрішнього інтегралу і при $\tau = \text{const}$ для зовнішнього інтегралу. Внутрішній інтеграл можна представити як:

Остаточно зовнішній інтеграл на двох дискетах по τ і по трьох дискетах по ζ наближатиметься функцією:

$$I_{1\text{зовн}} = D_1 \left\{ (\beta_2 - \alpha_2) e^{A_3 y^2} (A_1^2 - A_2 y^2) + (\beta_2^2 - \alpha_2^2) e^{A_3 y^2} y (A_2 - A_3 (A_1^2 - A_2 y^2)) + \frac{\beta_2^3 - \alpha_2^3}{3} e^{A_3 y^2} \times [A_3 (2A_3 y^2 + 1) (A_1^2 - A_2 y^2) - 4A_2 A_3 y^2 - A_2] \right\}, \quad (22)$$

$$\text{де } A_1 = \frac{\beta_1 - \alpha_1}{\sqrt{t^3}} + \frac{3(\beta_1^2 - \alpha_1^2)}{4t\sqrt{t^3}}; \quad A_2 = \frac{\beta_1^2 - \alpha_1^2}{8at^2\sqrt{t^3}}; \quad A_3 = -\frac{1}{4at}.$$

Для нульової і першої дискет ДТ-спектру по ζ зовнішній інтеграл

$$I_{1\text{зовн}} = D_1 e^{A_3 y^2} \left\{ (\beta_2 - \alpha_2) (A_1^2 - A_2 y^2) + (\beta_2^2 - \alpha_2^2) y (A_2 - A_3 (A_1^2 - A_2 y^2)) \right\}. \quad (23)$$

$$\text{Для нульових дискет } I_{1\text{зовн}}: \quad I_{1\text{зовн}} = D_1 \frac{e^{\frac{-y^2}{4at}}}{\sqrt{t^3}} (\beta_2 - \alpha_2) (\beta_1 - \alpha_1).$$

Для однієї (нульової) дискрети по ζ і по трьом дискетам по τ $I_{1\text{зовн}}$:

$$I_{1_{\text{зовн}}} = D_1 \frac{e^{-\frac{y^2}{4at}}}{\sqrt{t^3}} (\beta_2 - \alpha_2) \times \left[\begin{aligned} &\beta_1 - \alpha_1 + \frac{\beta_1^2 - \alpha_1^2}{2} \left(\frac{B}{t^2} + \frac{3}{2t} \right) + \\ &+ \frac{\beta_1^3 - \alpha_1^3}{24t^4} (15t^2 + 20Bt + 4B^2) \end{aligned} \right], \quad (24)$$

де $B = -(y - \zeta)^2$.

Б. Побудова апроксимаційних функцій для другого інтегралу виразу (20).

Апроксимаційні функції окремих складових другого інтегралу виразу (20) і в решті всього інтегралу зокрема, використаємо аналогічні прийоми, тобто, за допомогою послідовного знаходження диференціальних спектрів окремих складових інтегралу:

Обчислення зовнішнього інтегралу $I_{2_{\text{зовн}}}$ збігається з обчисленнями для інтегралу I_1 , а остаточне представлення збігається з (22):

$$I_{2_{\text{зовн}}} = D_2 \left\{ (\beta_2 - \alpha_2) e^{A_3 y^2} (A_{21}^2 - A_{22} y^2) + (\beta_2^2 - \alpha_2^2) e^{A_3 y^2} y (A_{22} - A_3 (A_{21}^2 - A_{22} y^2)) \right\} + \frac{\beta_2^3 - \alpha_2^3}{3} e^{A_3 y^2} \times [A_3 (2A_3 y^2 + 1) (A_{21}^2 - A_{22} y^2) - 4A_{22} A_3 y^2 - A_{22}], \quad A_3 = -\frac{1}{4at}.$$

$$A_{21} = \frac{\beta_1 - \alpha_1}{\sqrt{t}} - \frac{\beta_1^2 - \alpha_1^2}{2} \frac{1}{2t\sqrt{t}}; \quad A_{22} = \frac{\beta_1^2 - \alpha_1^2}{8at^2 \sqrt{t}}, \quad D_2 = \frac{\rho \bar{V}_\infty c (\bar{T}_w - T_0) \sqrt{a}}{\sqrt{\pi}}.$$

На рисунку 1 показана підінтегральна функція $z_1(\tau, \zeta)$ з формули (21), з якого видно, що ця поверхня відносно ζ має незначні відмінності, а по часовій координаті стрімко зростає зі збільшенням часу прогріву. По вигляду $z_1(\tau, \zeta)$ можна відзначити, що кількість точок розбиття по часовій координаті для ДТ-моделі необхідно брати значно більшу, ніж по просторовій координаті.

Для рис.2 апроксимація зміщеними ДТ-перетвореннями в точках t_v , τ_v – по змінних з часовими координатами: $t_v = t - v$, $\tau_v = \tau - v$:

$$z_1(\tau) = \frac{e^{\frac{B}{t_v}}}{\sqrt{t_v^3}} \left[\begin{aligned} &1 + \frac{\tau_v}{t_v} \left(\frac{B}{t_v} + \frac{3}{2} \right) + \frac{\tau_v^2}{8t_v^4} \times \\ &\times (15t_v^2 + 20Bt_v + 4B^2) \end{aligned} \right]_{v=5} = \frac{e^{\frac{B}{t-5}}}{\sqrt{(t-5)^3}} \left[\begin{aligned} &1 + \frac{\tau-5}{t-5} \left(\frac{B}{t-5} + \frac{3}{2} \right) + \frac{(\tau-5)^2}{8(t-5)^4} \times \\ &\times (15(t-5)^2 + 20B(t-5) + 4B^2) \end{aligned} \right].$$

Знаходження коефіцієнта температуропровідності будемо проводити з такими значеннями:

$$\bar{V}_\infty = 1,1 \times 10^{-4} \text{ м/с}; \quad c = 1750 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}; \quad \rho = 2000 \text{ кг/м}^3, \quad t = 20 \text{ с}; \quad y = 0,004 \text{ м};$$

$$\bar{T}_w - T_0 = T_w = 2390 \text{ К}; \quad \bar{V}_\infty = 0,11 \cdot 10^{-3} \frac{\text{М}}{\text{с}}; \quad \zeta_1 = \alpha_2 = 2,29462722 \times 10^{-3} \text{ м};$$

$$\zeta_1 = \beta_2 = 3,807539625 \times 10^{-3} \text{ м}; \quad \tau_1 = \alpha_1 = 0 \text{ с}; \quad \tau_2 = \beta_2 = 19 \text{ с}.$$

Розв'язання ОКЗТ за допомогою побудованої ДТ-моделі.

Рівняння теплопровідності (20) в загальному випадку можна представити наступним чином:

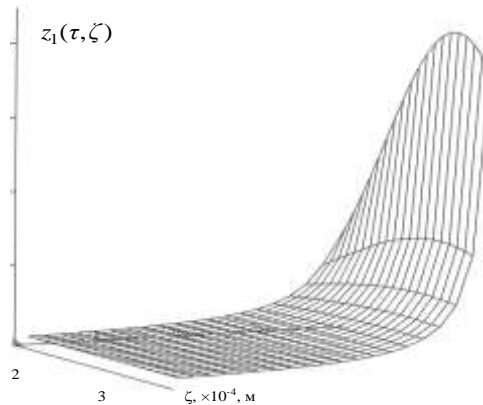


Рис. 1. Підінтегральна функція $z_1(\tau, \zeta) = \frac{e^{-\frac{(y-\zeta)^2}{4a(t-\tau)}}}{\sqrt{(t-\tau)^3}}$.

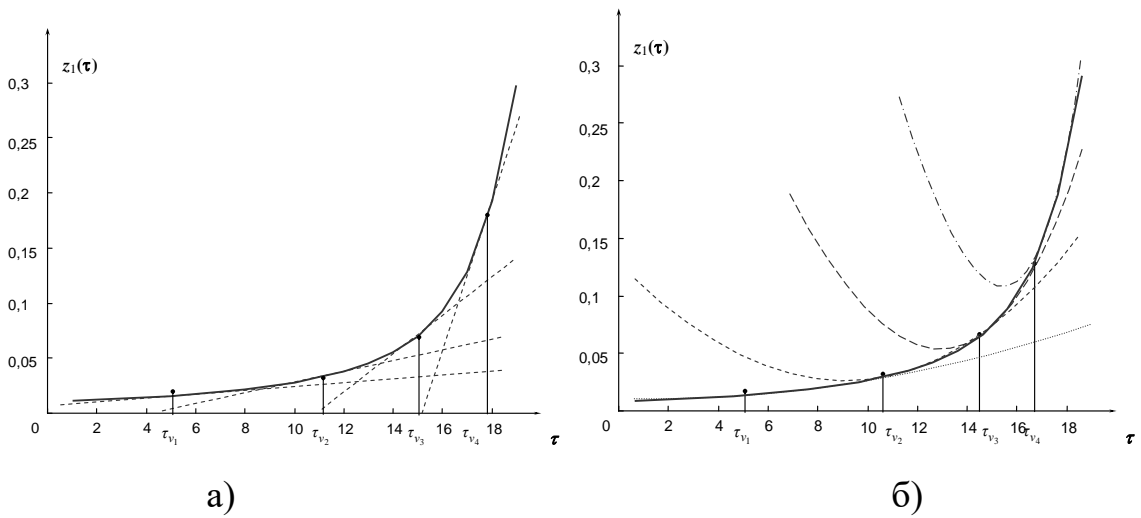


Рис. 2. Представлення підінтегральної функції $z_1(\tau) = \frac{B}{\sqrt{(t-\tau)^3}} e^{\frac{B}{(t-\tau)}}$ в точках τ_v

апроксимаціями $z_1(\tau)|_{\tau=\tau_v} = \frac{e^{\frac{B}{t}}}{\sqrt{t^3}} \left[1 + \frac{\tau}{t} \left(\frac{B}{t} + \frac{3}{2} \right) \right]$ (а) і

$$z_1(\tau)|_{\tau=\tau_v} = \frac{e^{\frac{B}{t}}}{\sqrt{t^3}} \left[1 + \frac{\tau}{t} \left(\frac{B}{t} + \frac{3}{2} \right) + \frac{\tau^2}{8t^4} (15t^2 + 20Bt + 4B^2) \right] \text{ (б).}$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m e^{\frac{k_{1ij}}{a} \left(\frac{k_{2ij}}{\sqrt{a}} - k_{3ij} a \right)} = K(y, t), \quad (25)$$

$$\text{де } K(y, t) = \exp \left[\frac{-0,11 \cdot 10^{-3} y}{a} + \frac{(0,11 \cdot 10^{-3})^2 t}{a} \right], \quad k_{1ij} = \frac{-y_{cj}^2}{4t_{ci}},$$

$$k_{2ij} = \frac{(\beta_{2cj} - \alpha_{2cj})(\beta_{1ci} - \alpha_{1ci})}{\sqrt{2\pi t_{ci}^3}}; \quad k_{3ij} = \frac{2000 \cdot 0,11 \cdot 10^{-3} \cdot 1750 \cdot (\beta_{2cj} - \alpha_{2cj})(\beta_{1ci} - \alpha_{1ci})}{\sqrt{\pi t_c}}.$$

Нев'язка розв'язку

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m e^{\frac{k_{1ij}}{a} \left(\frac{k_{2ij}}{\sqrt{a}} - k_{3ij} a \right)} - K(y, t). \quad (26)$$

При розбитті першого і другого інтегралів отримуються значення нев'язки:

$$n=2; m=2; \varepsilon=673,7383; \quad n=21; m=1; \varepsilon= -0,9117; \quad n=40; m=2; \varepsilon= -0,0028.$$

По формулі (26) були отримані наступні значення нев'язок $\varepsilon = I_1(y, t) - I_2(y, t) - K(y, t)$:

$$n=2; m=2; \varepsilon= 115,3036; \quad n=3; m=2; \varepsilon= -11,9817;$$

$$n=3; m=5; \varepsilon= -6,2504; \quad n=12; m=2; \varepsilon= 0,0770.$$

В табл. 2 наведений розв'язок ОКЗТ відносно коефіцієнту температуропровідності для аналітичної моделі (25) і для найгрубішої ДТ-моделі (25) – апроксимації розподілення температурного поля на одній дискреті – для різних похибок початкових даних. Було виявлено, що модель (25) найбільш чутлива до глибини прогріву досліджуваних зразків, тому похибка вносилася в параметр y . Аналіз чисельного експерименту показує, що аналітичний розв'язок чутливий до змін в початкових даних – похибка в результаті значно більша, ніж в початкових даних $\delta_a \gg \delta_y$. Це свідчить про нестійкість, а отже і неприйнятність аналітичної моделі у випадку розв'язання оберненої задачі. Диференціальна модель, навпаки, показує стійкість, оскільки $\delta_a \approx \delta_y$, δ_a зменшується зі збільшенням точок розбиття n, m . Слід звернути увагу на те, що диференціальна модель має ще додаткову похибку апроксимації $\delta_{\text{моделі}}$, яка, як виявилось, не впливає на стійкість отриманого розв'язку.

Отриманий стійкий до похибок в початкових даних розв'язок ОКЗТ з унесенням маси, представленої в інтегральній формі, за допомогою символічного методу на основі ДТ-перетворень.

Висновок. В роботі застосовані ДТ-перетворення для розв'язання ряду задач, які доцільно представляти в ІРФПР, та продемонстровані переваги використання ДТ-перетворень на трьох різних моделях.

Таблиця 2

Значення відносних похибок і коефіцієнту температуропровідності для моделей (25), (25)

Модель	$\delta_{\text{моделі}}, \%$	$\delta_y, \%$	$a, \times 10^{-7}, \text{ м}^2/\text{с}$	$\delta_a, \%$
Аналітична модель (25)	0	0	6	0
Аналітична модель (25)	0	12,5	7,68	28
ДТ-модель (25), n=3, m=2	8,9	0	2,2	63
ДТ-модель (25), n=12, m=1	3	0	5,75	4,17
ДТ-модель (25), n=12, m=1	3	12,5	5,12	14,67
ДТ-модель (25), n=21, m=1	0,05	0	5,87	2,17
ДТ-модель (25), n=21, m=1	0,05	12,5	5,23	12,83

Відзначимо особливості запропонованих символічних моделей. Запропоновані моделі припускають розгляд змінних як в кінцевих, так і безкінечних межах. Досить прості вирази для виконання математичних операцій в області зображень дозволяють поширити символічний метод на нелінійні крайові задачі.

ЛІТЕРАТУРА

1. А. А. Засядько, “Дифференциально-тейлоровская модель задачи восстановления в спектроскопи”, *Электронное моделирование*, Т.24, № 6, с. 97–105, 2002.
2. С. Д. Ивасишин, *Линейные параболические граничные задачи*, Киев: Высшая школа, 1987.
3. С. Л. Корольюк, С. С. Корольюк, И. М. Царенко, О. Л. Тарко, и А. В. Галочкин, “Собственные полупроводники группы A_2V_3 как перспективные материалы для радиационно стойкой электроники”, *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, №6, с. 3–5, 2001.
4. Г. Е. Пухов, *Дифференциальные спектры и модели*, К.: Наук. думка, 1990.
5. Г. А. Фролов, и В. Л. Баранов, “Динамика прогрева твердого тела при тепловом разрушении поверхности”, *Инженерно-физический журнал*, Т.80, №6, с. 30–43, 2007.

Додаток

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ ТА АНОТАЦІЇ

ГЛАВА 1 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

1.1. Побудова крипто-кодових конструкцій для використання в постквантовій криптографії

д.т.н., професор, завідувач кафедри промислового дизайну Четінкайя К.

Карабюцький університет, Турція

канд. техн. н., доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій Король О. Г.

ст. викл. кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій Гаврилова А. А.

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця,

м. Харків

Abstract. The article analyzes construction of crypto-code systems (CCSs) based on asymmetric McEliece and Niederreiter crypto-code systems on elliptical (EC) and modified elliptical codes (MEC), which, in the conditions of postquantum cryptography, allow providing a guaranteed level of crypto stability, to counteract the modern. Attacks and attack by V. Sidelnikov on the theoretical code schemes of McEliece and Niederreiter.

Schemes of hybrid crypto-code designs contraction the damaged codes are addressed. Methods of constructing mechanisms of confidentiality and integrity of banking information resources under hybrid threats to security components (information security, cybersecurity, information security) are proposed.

Using of a damaged code is suggested to this end. Damaged code allow you to increase the speed of code changes by reducing the power of the field when causing damage to open text and reducing the amount of data transferred by causing harm to the cipher text. The methods of constructing unprofitable codes and approaches for use in hybrid CCS of McEliece and Niederreiter on modified elliptic codes are considered. Practical algorithms for the use of the MV2 mechanism in McEliece's CCS and Niederreiter's modified elliptic codes are proposed, which allows the implementation of the CCS hybrid scheme. The comparative results of the study of stability and power capacity with respect to their practical use in automated banking systems are presented.

Keywords: McEliece' crypto-code systems, Niederreiter's crypto-code systems, elliptic codes, modified elliptical codes, hybrid crypto-code systems.

1.2. Побудова цифрового водяного знаку на основі узагальненого перетворення Фур'є

канд. фіз-мат. н., доцент кафедри автоматизованих систем управління Дронюк І. М.

канд. техн. н., доцент кафедри автоматизованих систем управління Шпак З. Я.

Національний університет "Львівська політехніка",

Abstract. The method of constructing a digital watermark for the protection of one-dimensional and two-dimensional signals is described. The creation of a digital watermark grounds on the development of one-dimensional and two-dimensional generalized Fourier and Hartley transformations on the base of Ateb-functions as a generalization of trigonometric functions. The embedding of the digital watermark is realized in the frequency domain. The simulation of attacks on protected files is carried out to confirm the stability of the proposed method. Experiments proved the high stability of the developed method conformably to the main types of attacks. An additional built-in digital watermark can be used to identify protected files. The proposed method can be used to support the security of a variety of signals: audio, images, electronic files etc. for the protection from unauthorized access and as well for identification.

Keywords: generalized Fourier and Hartley transformation, Ateb-functions, digital watermark, data protection, signal processing.

1.3. Пропозиції щодо застосування сучасних супутникових технологій для топогеодезичного забезпечення безпілотних літальних апаратів

провід. інженер Пустоваров В. В.

*Харківське предст. ген. замов. – ДКА України,
м. Харків*

Abstract. It is shown that, under the flight control of a UAV, a set of flight planning measures, ensuring the necessary movement of the vehicle in airspace, are understood. The necessity of improving the topographic and geodetic support of a UAV flight using modern satellite technologies has been substantiated.

A methodological approach has been developed to assess the capabilities of using modern satellite technologies for the topographic and geodetic support of UAVs. The technical requirements for the equipment of the integrated navigation system of the UAV equipment are defined. The basic requirements for the technical characteristics of the UAV navigation systems are formulated.

Keywords: flight control, topographic and geodetic support, satellite navigation, flight route, unmanned aerial vehicle

1.4. Метод діагностичного контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту для зменшення витрат на перевезення вантажів

Д-Р техн. н., с.н.с., заст. начальника кафедри Герасимов С. В.

*Харківський національний університет Повітряних Сил
м. Харків*

аспірант Штрибець В. В.

*Державний університет інфраструктури та технологій,
м. Київ*

Abstract. The influence of the technical condition of the engines of watercraft on the profitability of cargo transportation is shown. A reasonable method of diagnosing the technical condition of engines based on the spectral analysis of engine oil. A method of spectral analysis of random signals using the RMS criterion and the minimum influence of the side lobes of the spectral window function is proposed based on the corresponding optimization problems. Relations are obtained for the optimal synthesis of the characteristics of dynamic filters for measuring the spectral power density estimates of random signals.

Keywords: technical condition, spectral analysis, means of water transport, optimal filter, engine.

1.5. Принципи побудови автоматичних приладів для контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту

*канд. пед. н., доцент Дакі О.А.
аспірант Трофименко А.О.*

*Державний університет інфраструктури та технологій,
м. Київ*

Abstract. The necessity of monitoring the technical condition of control systems and navigation means of water transport is shown. It is substantiated that the development of design principles and the creation of generators based on measuring signals of a complex (desired) form will allow the input signal to be formed with the required degree of accuracy. The principles of construction and various design options that implement the optimal algorithm for processing the measuring signal are considered. The use of the combined method of synthesis of the measuring signal with the aim of increasing the control efficiency is proposed. The given variants of building control devices, in which the processing of the measuring signal is carried out on the basis of simplified algorithms, which make it possible to significantly simplify the equipment while maintaining sufficiently protection against interference.

Keywords: control and navigation system, measuring signal, generator, circuit, means of water transport.

ГЛАВА 2

ПРОГРАМУВАННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

2.1. Інформаційна технологія оптимізації технологічного процесу відновлення та зміцнювання поверхонь валів зі сталі як хмарний сервіс

*канд. техн. н., доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення Дреєв О. М.
канд. техн. н., доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення Смірнова Т. В.*

*Центральноукраїнський національний технічний університет,
м. Кропивницький*

Abstract. In the work the information technology of optimization of technological process of restoration and strengthening of surfaces of shaft of steel as a cloud service is offered. For this purpose, the abstract technological process, its properties and methods of transition to a specific technological process are considered. The information model of the technological process and methods of its obtaining are considered. Abstract expert systems and their constituents are considered. The review of known expert systems of optimization of technological processes, bringing them to an abstract view is carried out. A formalization of a subset of abstract expert systems for optimizing technological processes is proposed. The proposed formalization of advisory systems for optimizing the chain of technological processes, as an add-on of the expert system over the expert systems of individual technological processes. Thus, together with the proposed information technology in the form of a cloud system for solving the problem of constructing an optimized chain of technological processes of recovery and strengthening of surfaces of shafts, with the choice of a more optimal process among alternatives, for the task.

Keywords: expert system, information processes, decision making, surface, restoration, strengthening, steel

2.2. Створення системи поширення push-повідомлень

*канд. екон. н., доцент кафедри інформаційних систем Ушакова І. О.
Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця,
м. Харків*

Abstract. The model of the system was implemented in the work. It allows to trace the quality and the passed way to deliver the notification. In order to create a system for transmitting push-messages, model variants of use, function trees were constructed. The results can be used to create a push message system for customers who have mobile devices. The scientific novelty consists in the development of a methodological basis for assessing push-technologies; developing a model information system for the transmission of push-notification.

Keywords: push-notification, message transfer, user, information system, mobile technology.

2.3. Метод генерування фрактального трафіку за допомогою моделі генератора на графі

*канд. техн. н., доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення Дресва Г.М.
Д-Р техн. н., професор кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення Смірнов О.А.
Центральноукраїнський національний технічний університет,
м. Кропивницький*

Abstract. In the work the relevance of the problem of creating generators of fractal binary sequences without the use of infinite distributions is shown. It is proposed to use a generator of a fractal binary sequence based on a finite automaton. The possibility of preliminary determination of the fractal dimension of the generated traffic with the intensity $\tau = 0.5$ is shown. An analytical estimation of the Hurst index of the generated binary sequence with traffic intensity $\tau = 0.5$ was carried out. The variability of the fractal dimension of the binary sequence and with other intensities τ is shown. The analytical expressions are derived for obtaining generator parameters with a given density of output bits and controlling their fractal dimension. Work needs to be continued by improving analytical assessments and generalizing them to the arbitrary intensity of generated traffic.

Keywords: generator of fractal binary sequence, traffic, computer networks.

2.4. Оцінка якості сіткових 3D-об'єктів при різних швидкостях цифрового потоку

*канд. техн. н., ст. викл. кафедри ТЕЗ та М ім.А.Г. Зюко Солодка В.І.
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
м. Одеса*

Abstract. To describe complex volumetric real objects by grids, it is necessary to move in the direction of decreasing computational power, since in the classical form each vertex of the object is amenable to mathematical transformation and increases computational costs by an order of magnitude. To reduce the computational complexity of network models, a transition to the spectral region is proposed, by splitting the object into subbands of the region, followed by filtering using wavelet transforms.

Keywords: net methods; bulky objects, image quality, digital stream.

2.5. Сжатие изображений на основе автоматической и нечеткой классификации фрагментов

*Д-Р техн. н., професор кафедри криміналістики Иванов В.Г.
Национальный юридический университет имени Ярослава Мудрого
г. Харьков*

Abstract. The practical results of computer simulation of compression of some classes of realistic images are given. Methods of image compression based on automatic and fuzzy

classification of fragments of various dimensions have been proposed and investigated. The methods allow to significantly reduce the data volume for highly saturated images as compared to cos- and wavelet transforms.

Keywords: image compression, automatic and fuzzy fragment classification, cos- and wavelet transform.

ГЛАВА 3

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ, МЕДИЦИНІ ТА ОСВІТІ

3.1. Аналіз та вдосконалення бізнес-процесів організації із застосуванням референтних моделей

аспірант кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління
Копп А.М.

канд. техн. н., доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій
управління Орловський Д.Л.

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”
м. Харків

Abstract. The basic features of business process models, which are using in order to collect, store, and share organizational knowledge, have been considered. The issues, related to the business process models reusing in order to design new or enhance existing business processes, have been considered. These issues are also related to reference models, which provide reference scheme of business organization, proved in practice in different organizations all over the world. Since business process models collections of modern organizations may contain hundreds or even thousands of models, the problem, related to the selection of variants of current business process design in order to develop recommendations for its further enhancement, becomes relevant. Therefore, the approach to selection of reference business process models, which are similar to the current organizational business processes, and its features and drawbacks have been considered. Knowledge representation models have been proposed for using in order to describe business process models. The definition of similarity measure among the considered descriptions of business process models has been proposed.

Keywords: business process model, reference model, knowledge, business process model collection, business process model similarity.

3.2. Комітет нейроподібних структур мпгп з поліноміальним розширенням входів для задач великих даних

канд. техн. н. кафедри інформаційних технологій видавничої справи Ізонін І. В.
Д-Р техн. н., професор, завідувач кафедри інформаційних технологій видавничої справи
Ткаченко Р. О.

Національний університет “Львівська політехніка”,
м. Львів

Abstract. The developed method of the committee of SGTМ neural-like structures with inputs polynomial expansion for solving the Big Data processing tasks is described. The construction of the committee is based on the construction of a binary decision tree. Proposed method's modelling for solving the task of the individual insurance payments forecasting was conducted. Experimentally established the high efficiency of using the developed method in comparison with existing ones, in particular, to increase the accuracy of the solution and satisfactory results regarding the duration of the training procedure. The

proposed method can be used in variety areas: medicine, information security, economics, materials science, etc., which require accurate and fast Big Data processing.

Keywords: committee, neural structures, decision tree, inputs polynomial expansion, Big Data processing.

3.3. Інформаційно-програмне забезпечення обробки та аналізу стану складних екологічних об'єктів

д-р техн. н., професор Козуля Т. В.

канд. техн. н., доцент Козуля М. М.

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”

м. Харків

Abstract. An objective monitoring system has been created for assessing the level of environmental safety of complex objects “system - environment” based on the proposed entropic assessment of the quality of complex systems and processes in them, as well as information and software support for measuring and calculating operations on the methodological support provided

Keywords: scenario-target approach, knowledge-oriented system, Kolmogorov-Arnold-Moser theory, probabilistic-entropic estimation, homeostasis, linear logical transformation.

3.4. Стратегія рішень надання професійної медичної допомоги в районах техногенних катастроф на базі високих технологій

канд. техн. н., доцент кафедри автоматизованих систем та кібербезпеки Пунченко Н.О.

Одеська державна академія технічного регулювання та якості,

м. Одеса

канд. техн. н., ст. викл. кафедри мереж зв'язку Цира О. В.

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,

м. Одеса

Abstract. At the moment, innovations for interventional procedures are considered as particularly important. For modern surgical procedures, the “integrated” approach is very demand. The work is devoted to the description of the approach of choosing integrated medical information systems for work in difficult weather and territorial conditions. Considerers both the long-term experience of informatization of healthcare, and the changing requirements for the functioning of integrated medical information systems and technologies for their development and maintenance at the present stage. It is shown that it is necessary to take into account not only the characteristics of medical equipment, but also all the characteristics of the software and hardware complex of the system.

Keywords: analog-digital converter, hospital-polyclinic ships, medical integrated information system.

3.5. Персоналізований підхід до обробки та аналізу медичних даних пацієнтів

канд. техн. н., ст. викл. кафедри систем штучного інтелекту Мельникова Н. І.

*Національний Університет "Львівська політехніка",
м. Львів*

*канд. мед. н., доцент кафедри загальної хірургії Мельников В. А.
Львівський Національний Медичний Університет ім. Д. Галицького,
м. Львів*

Abstract. The application of machine learning technology and Big data to solve the problem of personalized approach in the tasks of making medical decisions and predicting states will allow to study random mechanisms of modeling and forecasting of treatment stages taking into account individual patient's characteristics, analysis of the medicaments and their key characteristics.

The authors proposed the development of a System for the medical decisions support for the personalized data consolidation of the patient which were receiving from the heterogeneous sources that are related healthcare. The conceptual scheme of the system was proposed and new approaches to consolidation and analysis of patient's data and forecasting of its states are offered. The use of various processing technologies for the Big data obtained will allow the study of random mechanisms for modeling and predicting treatment stages, taking into account individual patient's characteristics, analysis of the medicaments and their key characteristics. These will help develop innovative approaches to improve the risk stratification methodology, improve the quality of medical care by personalizing treatment schemes for patients.

Key words: medical decisions, prediction of states, consolidation of personalized data, analysis of medical data, personalization of treatment.

3.6. Визначення інформаційної забезпеченості системи верифікації даних

*канд. техн. н., доцент кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності
Федушко С. С.*

*канд. техн. н., доцент кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності
Сєров Ю. О.*

*Національний університет "Львівська політехніка"
м. Львів*

Abstract. The developed method of determining the information support of the data verification system of virtual communities' users is described for solving tasks of verifying the personal data validity of web participants. Information support of the system of personal data verification is a key task for the qualitative functioning of the system and determines the completeness of data for the correct functioning of the data verification system. The information support of the personal data verification system depends on the level of filling in the account, the relevance of the account and content, administrative authority, the level of web participant activity, and compliance with the rules of the virtual community. The developed methods are tested on four virtual communities of medical specialization. Selection of web-communities with medical specialization is carried out taking into account the priorities of the functioning of the web community. The priorities are set by the owners at the design stage, based on the chosen topics and community development scenario.

Keywords: personal data, verification system, information support, web community, personalization, medical data.

3.7. Основи теорії оптимізації радіоелектронних вимірювачів

Д-Р техн. н., професор кафедри Альошин Г. В.

*Українська державна академія залізничного транспорту
м. Харків*

Д-Р техн. н., ст. наук. співр., заслужений винахідник України, начальник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Коломійцев О. В.

*Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків*

Abstract. Existent problems are considered in the optimal construction of measuring systems. It is shown decided due to the use of curves of exchange on Gutkin L.S. Curves of exchange can explain, what measuring devices more optimal, how to co-ordinate the indexes of quality of measuring, how to overcome a requirement in a priori large vagueness, not diminishing exactness, how to explain contradiction of some theories, how to co-ordinate a priori range with a physical range, how to use a priori data, as a variable level of signal influences on exactness of measuring, as exactness of tuning influences on exactness of measuring, as possible to shorten time of search of signal, as character of tracker process influences on the system of automatic control et cetera. The method of forming of the generalized index of quality of the measuring systems is offered, that is just for measuring systems of any type, and different measureable parameters.

Keywords: optimization, estimation of parameter, measuring, exactness.

3.8. Символічні моделі фізичних процесів, що описуються інтегральним рівнянням фредгольма першого роду

Д-Р техн. н., професор Засядько А. А.

*Черкаський навчально-науковий інститут ДВНЗ "Університет банківської справи",
м. Черкаси*

Abstract. Differential taylorian transformations are used in this paper to create a series of symbolic models of physical processes that are appropriate to represent the Fredholm integral equation of the first kind, and demonstrate the advantages of using these transforms on three different models. The use of differential taylorian transforms reduces the solving of a complex problem to simpler, thereby reducing computational complexity, since it allows us to represent with an acceptable accuracy the complex inverse problem with a simpler model, a pronounced system of linear algebraic equations of small dimension

Keywords: differential taylorian transformations, the Fredholm integral equation of the first kind, incorrectness, inverse coefficient problem of temperature-conductivity

Наукове видання

ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Монографія

За загальною редакцією д-ра екон. наук, професора В. С. Пономаренка

Підписано до друку 30.03.2019 р. Формат 60x84 1/16.

Папір офсетний. Друк ризографічний. Ум. друк. арк. 26,0.

Гарнітура Times New Roman. Наклад 300 прим. Зам. № 0330/8-17.

Видавець: Рожко Сергій Григорович

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру
видавців,

виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції

ДК № 4924 від 24.06.2015 р.

Адреса для листування: а/с 11437, м. Харків, 61171

Надруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В. В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.

Запис № 2400000000106167 від 08.01.2009 р.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 78-17-137.

e-mail:bookfabrik@mail.ua