

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

ШЕВЧЕНКО ОЛЬГА ЮРІЇВНА

Підпис

УДК 658:512.011: 681.326: 519.713

**МОДЕЛІ І МЕТОДИ КІБЕРСОЦІАЛЬНОГО КОМП'ЮТИНГУ
УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ ДЛЯ КРИТИЧНИХ СИСТЕМ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Петров Едуард Георгійович

Харківський національний університет
радіоелектроніки, завідувач кафедри
системотехніки

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Мірошник Марина Анатоліївна,

Український державний університет залізничного
транспорту, професор кафедри спеціалізованих
комп'ютерних систем;

доктор технічних наук, професор,

Леонов Сергій Юрійович,

Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут», професор кафедри
обчислювальної техніки і програмування

Захист відбудеться " 14 " квітня 2021 р. о 15-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.01 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, місто Харків, пр. Науки, 14.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, місто Харків, пр. Науки, 14.

Автореферат розісланий "13" березня 2021 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Підпис

Є.І. Литвинова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Критична система являє собою сукупність взаємопов'язаних в кіберфізичному просторі та часі відносин (цілісності та єдності) між компонентами для досягнення поставленої мети, відмови яких призводять до значних економічних, політичних, соціальних, екологічних і гуманітарних (матеріально-енергетичних і просторово-часових) втрат. Прикладами критичних систем виступають технологічні та технічні об'єкти в галузях: енергетика, транспорт, промисловість, озброєння, кіберсоціальна сфера, банкінг, інтернет, державність, юриспруденція. Вчені та фахівці дійшли висновку, що близько 80 відсотків усіх відмов у критичних системах пов'язані з людським фактором, бо людина є завжди лише виконавцем. Отже, необхідно вилучати її з циклу моніторингу-управління щонайменше критичними процесами і явищами шляхом передачі повноважень з прийняття рішень детермінованому і практично безпомилковому комп'ютерному мережевому, хмарному, термінальному. Виграє той, хто вчасно перетворює фізичний і соціальний простір в оцифровані процеси і явища для точного моніторингу та управління бажано без участі людини. Тому управління кадрами в критичних системах будь-якої природи поки залишається найголовнішою проблемою людства, вирішення якої пов'язане зі збереженням планети, придатної для життя людей.

Тема дисертаційної роботи націлена на розробку моделей і методів кіберуправління персоналом в критичних системах на основі цифрового моніторингу компетентностей з метою квазіоптимального вибору і призначення співробітників на функціональні позиції шляхом порівняння еталонних моделей необхідних фахівців з метриками реальних претендентів.

Проблеми моніторингу професійної придатності працівника і управління кадрами розглянуто в роботах відомих вчених: Thomas Shea, Christian Imdorf, Silvia Moscoso, Jesús F. Salgado, Mitchell H. Peterson, Pamela Gallahue, Crystal T. Laura, Susanna W. Pflaum, Gabriel Steinhart, Шмідт Ф.Л., Хантер Дж. І., Уррі В.В., Хооп Ф., Вінк П., Конінгсвелд І., Блейхер В.М., Бурлачук Л.Ф., Морозова С.М., Петров Е.Г., Безкорвайний В.В., Міщенко О.С., Хаханов В.І., Тихомірова Н., Кухаренко В., Білоусова Л., Зимова І., Матросова А., Харченко В., Свтушенко Н., Філатов В., Аванесов В., Раков С..

Зв'язок дисертації з науковими проектами, держбюджетними темами. Розробка теми дисертації здійснювалася відповідно до планів держбюджетних НДР Харківського національного університету радіоелектроніки в період з 2015 року, в тому числі: 1) НДР № 196 "Розробка методів і інструментальних засобів структурно-параметричної ідентифікації моделей багатофакторного оцінювання і багатокритеріальної оптимізації" (№ ДР 0106U003175). 2) НДР № 236 "Розробка математичних моделей і програмних засобів прийняття багатокритеріальних рішень в умовах невизначеності" (№ ДР 0109U002571). Здобувачка брала участь у виконанні робіт за вказаними темами як виконавиця. В рамках виконуваних робіт здобувачем розроблено математичні моделі, методи, алгоритми та

програмне забезпечення для розв'язання задач кіберсоціального комп'ютингу управління персоналом в критичних системах.

Сутність дослідження – розробка моделей і методів кіберуправління персоналом в критичних системах на основі цифрового моніторингу компетентностей з метою квазіоптимального вибору і призначення співробітників на функціональні позиції шляхом порівняння еталонних моделей необхідних фахівців з метриками реальних претендентів.

Об'єкт дослідження – сучасні процеси cloud–edge комп'ютингу для онлайн управління персоналом проекту (компанії, організації) з метою безпечного функціонування критичних систем.

Предмет дослідження – моделі і методи точного метричного моніторингу та цифрового управління прийняття рішень при відборі кваліфікованих кадрів з урахуванням накопиченого досвіду і психофізіологічних факторів.

Науково-практична задача полягає у розробці програмного додатку пошуку та оцінювання компетенцій співробітників шляхом їх вичерпного моніторингу і подальшого метричного аналізу подібності-відмінності для прийняття рішень з цифрового управління критичними процесами і явищами.

Мета дисертації – зменшення економічних, технологічних і соціальних втрат, пов'язаних з мінімізацією відмов у критичних системах шляхом підвищення компетенцій співробітників і послідовного виключення людини з процесів прийняття рішень на основі її заміни детермінованими механізмами комп'ютингу, що використовує цифрове інтелектуальне управління на основі метричного моніторингу кіберсоціальних процесів і явищ.

Задачі дослідження:

1) Розробити структурну модель комп'ютингу для інтерактивної онлайн взаємодії між людиною, критичною системою і механізмами точного цифрового моніторингу-управління.

2) Розробити метричний метод відбору співробітників за заданими еталонними компетенціями, що враховує передісторію, психофізіологію, досягнення, знання, вміння, навички.

3) Розробити метод метричного інтегрального оцінювання персоналу проекту (компанії) на основі пошуку квазіоптимального покриття посадових функціональностей.

4) Розробити комп'ютинговий метод онлайн моніторингу та прийняття рішень для істотного зменшення помилок оператора в процесі функціонування критичної системи.

5) Удосконалити методи сегментного пошуку підмножини ефективних проектних рішень, що враховують параметри трудомісткості і якості для істотного зменшення часу аналізу даних.

6) Розробити теоретико-множинний метод пошуку даних на основі метрики визначення подібності-відмінності для встановлення подібності об'єктів та ідентифікації цифрової спільності або конфліктності.

7) Виконати тестування і верифікацію розроблених моделей і методів онлайн моніторингу та цифрового управління компонентами сучасної критичної системи.

Наукова новизна результатів дослідження:

1) *Вперше запропоновано* структурну модель комп'ютингу, яка характеризується інтерактивною онлайн взаємодією між людиною, критичною системою і механізмами точного цифрового моніторингу-управління, що дає можливість виключати відмови, які призводять до техногенних катастроф і соціальних колізій.

2) *Вперше запропоновано* теоретико-множинний метод пошуку даних, який характеризується ог–метрикою визначення подібності-відмінності текстових фрагментів-об'єктів, що дає можливість знаходити подібність об'єктів, стратегію трансформування одного об'єкта в інший, а також ідентифікувати рівень цифрової спільності інтересів, конфліктності, плагіаризму, колізій.

3) *Удосконалено* метричний метод відбору співробітників за заданими еталонними компетенціями, який відрізняється від аналогів урахуванням передісторії, психофізіології, досягнень, знань, умінь, навичок, що дозволяє зменшити некоректні призначення на функціональні позиції.

4) *Удосконалено* метод метричного інтегрального оцінювання персоналу проекту (компанії), який відрізняється від аналогів застосуванням пошуку квазіоптимального покриття посадових функціональностей, що дозволяє істотно зменшити часові і матеріальні витрати на виконання проекту.

5) *Отримав подальший розвиток* комп'ютинговий метод прийняття рішень шляхом введення вичерпного онлайн моніторингу і цифрового управління, що дозволяє істотно зменшити помилки оператора в процесі функціонування критичної системи.

6) *Удосконалено* методи сегментного пошуку підмножини ефективних проектних рішень, що враховують параметри трудомісткості і якості, які відрізняються від існуючих структурною відмінністю множин опуклих і неопуклих допустимих варіантів. Це дозволяє істотно зменшити час аналізу вихідної інформації для прийняття рішень без зниження їх якості.

Практичне значення отриманих результатів. Результати проведеного тестування та верифікації розроблених моделей і методів онлайн моніторингу та цифрового управління компонентами сучасної критичної системи показали істотне виключення помилкових дій операторів шляхом зменшення відмінностей між метриками еталонних компетенцій і реальних фахівців. Запропонована програма імплементація теоретико-множинного методу пошуку даних що показала істотне підвищення продуктивності визначення подібності об'єктів.

Обґрунтованість наукових положень. Отримані в процесі виконання досліджень наукові висновки та практичні результати є достовірними, що підтверджується достатньою кількістю проведених експериментів, тестуванням і верифікацією моделей логічних схем і синтезованих тестів.

Впровадження результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження у складі моделей, методів і фрагментів додатків впроваджені у навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки (акт про впровадження від 26.11.2020); у науково-виробничу діяльність ТОВ «Проектування та діагностування систем» (довідка про впровадження від 30.11.2020).

Особистий внесок здобувача. Всі наукові і практичні результати отримано автором особисто. У роботах, опублікованих зі співавторами, здобувачеві належать: [1] – оцінка повноти та достовірності інформаційного забезпечення технологічної підготовки виробництва; [2] – ієрархічна теоретико-множинна модель задачі вибору технологічних рішень, метод прийняття рішень на основі моніторингу та цифрового управління; [3] – ієрархічна теоретико-множинна модель задачі вибору технологічних рішень; [4] – теоретико-множинний метод для істотного підвищення продуктивності пошуку даних шляхом визначення подібності-відмінності текстових фрагментів-об'єктів, що дає можливість визначати подібність об'єктів, стратегію трансформування одного об'єкта в інший, а також ідентифікувати рівень спільності інтересів, конфліктності, плагиаризму, колізій; [5] – методи сегментного пошуку підмножини ефективних проектних рішень, що враховують параметри трудомісткості і якості; [6] – частотний теоретико-множинний метод пошуку даних шляхом обчислення подібності-відмінності текстових фрагментів-об'єктів, що дозволяє визначати подібність об'єктів, стратегію трансформування одного об'єкта в інший, а також ідентифікувати рівень спільності інтересів, конфліктності, плагиаризму; [7] – застосування прецедентного підходу при розробці науково-технічної продукції; [8] – структурне моделювання інформаційного забезпечення проектування технологічних процесів; [9] – оцінка діяльності операторів складного технологічного обладнання; [10] – формування компетентнісного резерву операторів критичних систем в рамках прецедентного підходу, метричний метод відбору співробітників за заданими еталонними компетенціями; [11] – модель системної оптимізації технологічних об'єктів; [12] – моделювання технологічного ланцюжка для контролю якості виробництва нової продукції; [13] – огляд технологій моніторингу та управління соціальними і критичними процесами, структурна модель комп'ютингу між людиною, критичною системою і механізмами точного цифрового моніторингу-управління, тестування та верифікація моделей і методів онлайн моніторингу – цифрового управління компонентами сучасної критичної системи; [14] – метод моніторингу соціальних процесів, виділення підмножин ефективних рішень в задачах реінжинірингу технологічних систем; [15] – аналітична модель відношень у соціальних структурах, стратегії генерації варіантів у технологіях оптимізації структур територіально розподілених об'єктів, метод метричного інтегрального оцінювання персоналу проекту чи компанії; [16] – опис можливостей застосування технології Big Data для кіберуправління соціальними процесами, моделювання задачі вибору технологічних рішень; [17] – параметричний синтез багатокритеріальних оціночних моделей для технологій проектування; [18] – моделі кіберсоціального комп'ютингу для критичних систем.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи були представлені та обговорені на таких конференціях: «Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами», Алушта, 2009; «Современные проблемы управления производством», Донецк, 2009; «Информационные системы и технологии», ИСТ, Харьков, 2015; «Математичне моделювання процесів в економіці та управлінні проектами і програмами ММП»,

Коблеве-Харків, 2017; «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання», Івано-Франківськ, 2018; «7th International Scientific and Technical Conference Information Systems and Technologies IST», Kobleve-Kharkiv, 2018; «IEEE International Conference TCSET», Lviv-Slavsk, 2020; "Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання", Івано-Франківськ, 2019; «Інформаційні системи та технології» ICT, Коблеве-Харків, 2019; «Інтелектуальні системи та інформаційні технології», Одеса, 2019; «The XIII IEEE International Conference TCSET 2020» Lviv-Slavsk, Ukraine; «18th IEEE East-West Design & Test Symposium ((EWDTs 2020))», Varna, Bulgaria.

Публікації. Результати наукових досліджень опубліковані у 18 друкованих працях: 6 статей, що входять до міжнародних наукометричних баз, з них 5 – у наукових фахових виданнях України; 1 стаття в міжнародному науковому журналі за кордоном; 12 матеріалів міжнародних наукових конференцій, з них 3 входять до наукометричної бази Scopus. Здобувач має 3 публікації у наукометричній базі Scopus.

Дисертаційна робота складається зі 173 сторінок (з них 167 сторінок основного тексту) і містить: 5 розділів, 25 рисунків, перелік джерел з 102 назв (на 13 с.), 3 додатки (на 6 с.), анотації на 14 с.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність завдань, які вирішуються в дисертаційній роботі, сформульовано мету дослідження, а також викладено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів.

Перший розділ формує стан наукових досліджень в галузі управління персоналом в критичних системах, де помилки людини мають високу вартість. Показано основний тренд – вилучення людини з циклу управління-моніторингу з передачею його функцій більш надійним кіберфізичним системам. Комп'ютинг – це теорія і практика надійного метричного управління віртуальними, фізичними і соціальними процесами та явищами на основі використання інтелектуальних хмарних сервісів шляхом цифрового моніторингу кіберфізичного простору за допомогою персональних гаджетів і вбудованих розумних датчиків. Комп'ютинг системно може бути представлений (рис. 1) процесом моніторингу (5) та актуації (6) метричних відносин (2) в інфраструктурі управління (3) і виконання (4) для досягнення і візуалізації (8) поставленої мети – продукції і/або сервісів (1) при заданих ресурсах (7). Оскільки сьогодні не можна поки що обійтися без людини, як одного з компонентів управління, то необхідно мінімізувати її можливі помилки при прийнятті оперативних і стратегічних рішень у критичній системі. Виконання завдання пов'язане з цифровізацією історії, знань, умінь і навичок кожного співробітника на основі детермінованої метрики, попередньо сформованої експертами. Далі стратегія вибору рішення щодо призначення співробітника на функціональну позицію визначається ML-грую еталонних

компетентностей і CV реальних претендентів, які були перевірені на типових модельних ситуаціях.

Таким чином, в компактному вигляді реляційна сутність дисертації полягає у створенні відносин між критичною системою, комп'ютигом і людиною (рис. 2), яка усвідомлено мінімізує свій вплив шляхом передачі повноважень з прийняття рішень механізмам розумного моніторингу і хмарного (прецедентного) ML-управління.

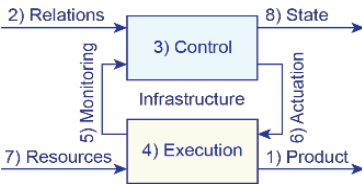


Рисунок 1 – Emerging critical computing

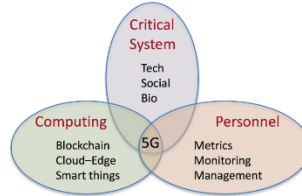


Рисунок 2 – Комп'ютинг критичної системи управління персоналом

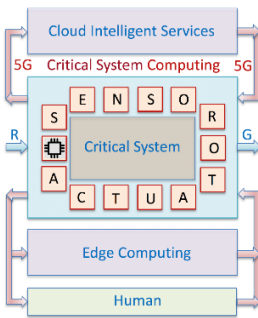


Рисунок 3 – Комп'ютинг критичної системи

Відношення розглядається як структура взаємопов'язаних компонентів, що визначає матеріально-енергетичні властивості процесу або явища в часі і просторі. Що стосується критичних ситуацій і відмов, то в даний час в кіберфізичному просторі є вичерпна інформація про будь-який негативний процес або явище, якому можна запобігти засобами інтелектуального хмарного і edge computing моніторингу-управління, що становить сутність critical system computing (рис. 3). Тут два обчислювача (хмарний і термінальний) обслуговують критичну систему за допомогою сенсорних датчиків і актуаторів.

Функція мети L – мінімізація прямих D і непрямих втрат S , пов'язаних з n -відмовами і відновленням працездатності R критичних систем за рахунок витрат на розробку та обслуговування комп'ютигових структур метричного онлайн прийняття рішень з цифрового управління критичними процесами і явищами на основі вичерпного точного моніторингу M , використання розумної інфраструктури I і кваліфікованих співробітників E , які відповідають еталонним компетенціям за освітою, досвідом і навичками:

$$L = \min \sum_{i=1}^n (D_i + k_i \times S_i + R_i) \leftarrow (A + M + I + E) \leq G_{\min}.$$

Для цього використовується класична структура комп'ютигу, як головної частини комп'ютерної інженерії, яка об'єднує управління і моніторинг в сферах

транспорту, медицини, захисту інформації, науки, освіти, виробничого і кібер-соціального комп'ютерингу.

Людина, метрично компетентна, виконує роль спостерігача з правом корекції виробничого (соціального) процесу. State комп'ютеринг, так само як і інші види, створює форми цифрового управління процесами і явищами. Проте людина є найслабшою і найненадійнішою ланкою в людино-машинній системі, яка створює не менше 75 відсотків помилок в авіації і 70 відсотків помилок в атомній енергетиці. Тому підготовка і оцінювання експертів для роботи в критичних системах завжди була, є і буде головним завданням для університету, компанії, держави. На основі сказаного формулюється мета управління для інтегрованої структури «людина-машина-середовище», яка враховує працездатність всіх компонентів, а також якість системи в заданому часовому інтервалі.

Оскільки загальна мета управління – забезпечення максимальної якості функціонування системи, то ефективність системи «людина–машина–середовище» можна представити виразом:

$$C^*(t) = \operatorname{argmax}_{r,o,b,m} S(t) = \operatorname{argmax}_{r,o,b,m} f[R(t), O(t), B(t), M(t), t],$$

де $r(t) \in R(t)$, $o(t) \in O(t)$, $b(t) \in B(t)$, $m(t) \in M(t)$; C^* – мета і оцінка прогнозу функціонального стану і працездатності в системі «людина–машина–середовище»; S – система «людина–машина–середовище»; R – реалізована працездатність людини–оператора; O – організація системи; B – стан обладнання; M – міжелементний інтерфейс; t – динаміка розвитку системи «людина–машина–середовище» протягом часу.

Всі фактори є функціями часу, але на коротких інтервалах стан обладнання, організацію системи та інтерфейс можна вважати постійними і незалежними від часу t . В такому випадку

$$B(t) = B, O(t) = O, M(t) = M,$$

$$C^*(t) = \operatorname{argmax}_{r,o,b,m} S(t) = \operatorname{argmax}_{r,o,b,m} f[R(t), O, B, M, t].$$

Звідси виходить, що якість функціонування системи «людина–машина–середовище» може змінюватися в часі залежно від працездатності оператора. Точність оцінки C^* істотно впливає на можливість досягнення максимальної якості та залежить від вибору множини показників функціонування системи або працездатності оператора залежно від рівня їх визначеності.

Важливим показником при цьому є метрична оцінка підприємства, як функція від структурних зв'язків і компонентів, що включає якість трудових ресурсів. При цьому комп'ютеринг характеризується визначеннями: випуск продукції, сервісів та логістичний, енергетичний рівень підготовки фахівців для критичних систем. Наукова новизна розділу полягає в розробці структурної моделі критичного комп'ютерингу. Метрична оцінка підприємства щодо його здатності реалізовувати інноваційні плани розвитку багато в чому визначається структурним і якісним складом трудових ресурсів і рівнем їхньої професійної підготовки. Особливостями сучасного технологічного процесу з виготовлення продукції і сервісів є: 1)

комп'ютинг: мережевий, хмарний, кінцевий для створення продукції та сервісів; 2) логістичний комп'ютинг; 3) моніторинг та управління критичними процесами; 4) підготовка операторів управління критичними процесами.

На основі проведеного аналізу сформульовано мету і задачі дослідження, орієнтовані на усунення проблемних місць і недоліків, пов'язаних з мінімізацією відмов у критичних системах шляхом поступового виключення експерта з циклу цифрового моніторингу метричного управління і заміною його механізмами детермінованого комп'ютингу.

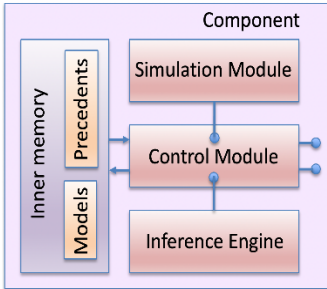


Рисунок 4 – Структура системи, що здійснює висновок за прецедентами

(рис. 4): внутрішня пам'ять – забезпечує зберігання моделей прецедентів і самих прецедентів; модуль моделювання прецедентів – забезпечує можливість створення, модифікації моделей прецедентів, формування та оновлення баз прецедентів на основі існуючих моделей; прецедентна машина виведення – здійснює пошук прецедентів за отриманим описом; керуючий модуль – забезпечує взаємодію між модулями компонента і надає інтерфейси для взаємодії із зовнішнім відносно компонента середовищем.

CBR–цикл формально подається як $CBR = \langle F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6 \rangle$, де F_1 – фаза вилучення прецедентів на основі оцінки подібності SIM; F_2 – фаза повторного використання вилученого прецедента для пошуку рішення в проблемній ситуації (зазвичай проводиться вибір одного з декількох витягнутих на фазі F_1 прецедентів для цього може бути використана оцінка релевантності прецедента ситуації, що склалася REL); F_3 – фаза верифікації та адаптації витягнутого прецедента; F_4 – фаза збереження нового прийнятого рішення в сховищі прецедентів; F_5 – фаза перегляду сховища прецедентів на основі оцінки якості прецедента за допомогою синтаксичних або семантичних заходів Q; F_6 – фаза реконструкції сховища прецедентів.

Багатофакторна узагальнена оцінка «відстані» характеристик проекту від знайдених еталонних має вигляд:

$$L = \sum_{i=1}^n a_i \Delta x_i,$$

У **другому розділі** розглянуті моделі відбору персоналу для критичних систем на основі теорії прецедентів, яку можна вважати гілкою машинного навчання (ML). Запропонований прецедентний підхід орієнтований на прийняття метрично обґрунтованих рішень, які мають на меті підбір кадрів для виконання різноманіття виробничих функцій шляхом використання тринадцяти процедур. Структура комп'ютингу для отримання рішення містить компоненти: бібліотеку прецедентів, блок моделювання, модуль управління процесом, а також інтерфейс зручного виведення даних. Система, яка реалізує висновок за прецедентами, складається з таких основних модулів

де a_i – вагові коефіцієнти, що визначають значущість окремих характеристик відносно інших, $\sum_{i=1}^n a_i = 1 < a_i \leq 1$.

Принцип оптимальності описується виразом:

$$x_{\Pi}^0 = \arg \min_{x \in X} \sum_{i=1}^n a_i \Delta x_i.$$

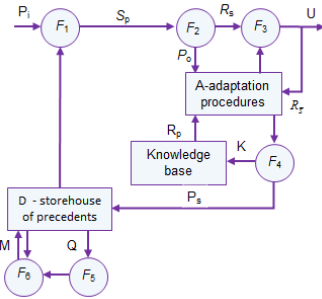


Рисунок 5 – Граф процесу функціонування СПР

Граф функціонування комп'ютерного СПР є алгоритм, що працює на векторно-матричних структурах бібліотеки прецедентів має шість умов розгалуження, відповідних числу метричних параметрів, які формують прецеденти, порівнювані з еталонами для прийняття рішення.

Відбір співробітників здійснюється на основі обчислення критеріїв, які формують міру близькості, а також оціночну функцію залежну від потужності бази даних співробітників, що

створюють покриття необхідних компетенцій.

Процедура виведення виконується так: на етапі 1 визначається оціночна функція ознак, що дозволяє надалі проводити відбір доречних прецедентів-співробітників, використовуючи відношення подібності, побудоване на множині найбільш істотних ознак. Для заданого набору ваг ознак $W_j: W_j \in \{0,1\}$, $j = 1, \dots, n$ і пари прецедентів l_p і l_q зважена міра близькості

$$d_{pq}^{(w)} = \sqrt{\sum_{j=1}^n W_j^2 (X_{pj} - X_{qj})^2},$$

де X – значення ознак. Міра подібності прецедентів $SM_{pq}^{(w)}$ визначається виразом: $SM_{pq}^{(w)} = \frac{1}{1 + d_{pq}^{(w)}}$.

Якщо всі ваги W однакові і дорівнюють 1, то міра близькості відповідає евклідовій мірі і позначається $d_{pq}^{(w)}$. Тоді оціночна функція ознак визначається так:

$$E(w) = \frac{2 \cdot [\sum_p \sum_{q < p} (SM_{pq}^{(w)} \cdot (1 - SM_{pq}) + SM_{pq} (1 - SM_{pq}^{(w)}))]}{N \cdot (N - 1)},$$

де N – кількість прецедентів у базі співробітників. На етапі 2 проводиться кластеризація бази прецедентів для прискорення операцій вибірки подібних прецедентів і розбиття бази прецедентів на компактні множини покриття. В основі алгоритму кластеризації лежить поняття матриці подібності, яка визначається на основі виразів $d_{pq}^{(w)}$ і $SM_{pq}^{(w)}$.

Заявлена в розділі новизна: удосконалено метричний метод відбору співробітників за заданими еталонними компетенціями, який відрізняється від аналогів урахуванням прецедентів, передісторії, психофізіології, досягнень,

знань, умінь, навичок, що дає можливість зменшити некоректні призначення на функціональні позиції.

Третій розділ присвячений оцінці готовності персоналу з метрики критичних робіт. Розглядаються моделі нештатної ситуації, ризиків і оцінки експертів.

Представлена декомпозиція процесу-явища на більш дрібні фрагменти на основі функцій належності, що дає можливість визначити в деталях нештатну ситуацію і привести її до сертифікованого або еталонного технологічного процесу. Декомпозицію ситуації на мікроситуації можна представити таким способом:

$$\text{NSit} = \text{NSit}_1 \cup \text{NSit}_2 \cup \text{NSit}_3 \cup \dots \cup \text{NSit}_i, \quad p(\text{NSit}_p) = \text{dist}(\text{NSit}_p, \text{NSit}_r),$$

де $\text{NSit}_1 \dots \text{NSit}_i$ – ряд мікроситуацій, які характеризують нештатну ситуацію. Імовірність виникнення мікроситуації NSit_i в декомпозиції ситуації Sit описується як $p(\text{NSit}_p)$ і визначається як декартова відстань між реальними значеннями параметрів мікроситуацій NSit_r та NSit_p , яка зберігається в базі знань.

Для кожної мікроситуації визначається функція належності до виду контрольованих параметрів:

$$Q(\text{NSit}_p) = \frac{\sum_{i=1}^a C(\text{NSit}_i) \frac{\text{dist}(\text{NSit}_p, \text{NSit}_i)}{\text{dist}_{\max} - \text{dist}_{\min}}}{a};$$

$$\text{NSit}_i \in \text{NSit}_n, \text{NSit}_n \subseteq \text{NSit};$$

$$\forall \text{NSit}_b \in \text{NSit}_n \text{dist}(\text{NSit}_p, \text{NSit}_b) < p;$$

$$|\text{NSit}_n| = a, \text{CNSit}_i = \begin{cases} 1 & \text{при } Q(\text{NSit}_i) \geq 0,5 \\ 0 & \text{при } Q(\text{NSit}_i) < 0,5 \end{cases};$$

$$\text{dist}_{\max} = \max_{i=1 \dots a} \text{dist}(\text{NSit}_p, \text{NSit}_a);$$

$$\text{dist}_{\min} = \min_{i=1 \dots a} \text{dist}(\text{NSit}_p, \text{NSit}_a),$$

де $Q(\text{NSit}_p)$ – предметна функція належності до типового технологічного процесу; C – функція належності до контрольованого технологічного процесу; NSit – множина мікроситуацій в базі знань; p – поріг порівняння, знаходиться експериментально.

У цій моделі чільне місце займає поняття ситуації, яке можна виразити наступною формулою:

$$\text{Sit} = \{x_1, x_2, \dots, x_m, \text{Sit}\}, \quad 0 \leq x_i \leq 1, \quad i = \overline{1, m}, \quad x_i \in X,$$

тут x_1, x_2, \dots, x_m – нормальна множина значень датчиків, встановлених на диспетчерському пункті у відповідності до вимог до якості технологічного процесу; Sit – дані про стан технологічного процесу за інформацією з інших диспетчерських пунктів; X – множина значень параметрів зовнішнього середовища, в тому числі задаються штучно. У загальному вигляді принцип роботи системи моніторингу і оптимізації ризиків можна описати так:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Sit} \\ x_1, x_2, \dots, x_m \end{array} \right] \xrightarrow{\Delta Z} \text{Sit} \xrightarrow{\Delta K} N(\text{Sit}) \xrightarrow{\Delta P} M(\text{Sit})$$

де ΔZ – фактична затримка отримання показань моніторингу; ΔK обчислюється за допомогою ΔP – затримки, пов'язаної з прийняттям рішення з оптимізації ризиків в умовах ситуації Sit. Існуючі затримки в системі співвідносяться так: $\Delta Z < \Delta K < \Delta P$. Таке співвідношення обумовлено кроком прийняття рішень. Зменшення ΔK дозволяє поліпшити контроль над розвитком надзвичайної ситуації і є дуже важливим в процесі оптимізації ризиків.

Природно, що для отримання точного діагнозу ситуації необхідно виконувати цифровий моніторинг процесу за всіма істотними параметрами, датчиками і сенсорами, що дає можливість мінімізувати ризики і управляти розвитком позаштатних ситуацій.

Функція привабливості щодо дій оператора заснована на використанні мінімальних ресурсів для досягнення мети. При цьому значення інтегрального критерію (випуск продукції) повинно мати максимум.

В такому випадку математична модель формування у оператора найбільшої привабливості розробленої (заданої) альтернативи x^T поведінки буде визначатися як завдання знаходження мінімальної кількості ресурсу Q для досягнення поставленої мети:

$$Q = \min_k \sum_1^n r_{1i}, P(x^T, a_i(P_{1i})) > P(x_j, a_i(r_{1i})) \forall x_j \in X, j = \overline{1, N}, \\ \sum a_i(r_{1i}) = 1, a_i(r_{1i}) \geq 0, \text{ де } P(x) = F(a_i, P_i[k_i(x)]), i = \overline{1, n},$$

де $P_i[k_i(x)]$ – функція корисності часткової характеристики. Для альтернатив, привабливість яких визначається значеннями часткових характеристик, плани усунення нештатної ситуації розробляються на ранжирування альтернативи варіантів залежно від величин коефіцієнтів значущості функції корисності часткових критеріїв.

Завдання, зворотне наведеній вище задачі розподілу ресурсів при плануванні стратегії поведінки в критичній ситуації має вигляд:

$$P(x^T) = \max F(a_i, P_i[k_i(x, r_{2i})]), \\ \sum_{i=1}^n r_{2i} \leq Q.$$

У свою чергу функція корисності є адитивною по своїй суті, яка залежить від часткових критеріїв, що формують якість виробничого процесу в цілому.

Найбільш відомою і широко вживаною формою представлення функції корисності є адитивна форма: $P(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i K_i(\delta)$; $i = \overline{1, n}$,

де $K_i(\delta)$ – набір часткових критеріїв розглянутих варіантів. У формулі коефіцієнт λ_i враховує ступінь важливості часткових критеріїв і приводить часткові оцінки $K_i(\delta)$ до єдиної розмірності і інтервалу зміни. Тоді адитивна форма функції корисності набуде вигляду:

$$P(\delta) = \sum_{i=1}^n a_i K_i^H(\delta), 0 \leq a_i \leq 1, \sum_{i=1}^n a_i = 1,$$

тут a_i – відносні безрозмірні вагомні коефіцієнти; $K_i^H(\delta)$ – значення часткових критеріїв:

$$K_x^H = \left[\frac{K_i(x) - K_{iHX}}{K_{iHL} - K_{iHX}} \right],$$

тут K_{iHL}, K_{iHX} – відповідно найгірше і найкраще значення i -ї характеристики на множині X . Виходячи з викладеного, можна записати ізоморфну функцію корисності часткової характеристики:

$$P_i[k_i(x)] = \left[\frac{K_i(x) - K_{iHX}}{K_{iHL} - K_{iHX}} \right]^\alpha,$$

тут K_{iHL}, K_{iHX} – відповідно найкраще і найгірше значення i – ї характеристики на множині X .

Використовуючи введені оцінки, запропонований метод метричного пошуку квазіоптимального покриття формує коректний розподіл кадрів за компетенціями, що підтверджується оцінками покриття і оптимальності.

На практиці прийнято розділяти поняття "компетентність" і "компетенція". Компетентність визначають як інтегральну характеристику, яка розпадається на спектр часткових компетенцій. За допомогою компетентнісного підходу можливо більш повно і обгрунтовано оцінювати рівень підготовки фахівця, рівень кваліфікації якого передбачає не тільки його готовність, а й здатність до роботи в сучасних умовах динамічних змін в світі технологій і суспільного життя.

Метод метричного інтегрального оцінювання пошуку квазіоптимального покриття посадових функціональностей ґрунтується на аналізі особливостей завдань багатокритеріального оцінювання в задачах управління людськими ресурсами. Це дозволяє зосередити основну увагу на ситуаціях детермінованого подання значень коефіцієнтів важливості часткових критеріїв $K_i(x)$ інформації $Q(a_i)$, що найбільш часто зустрічаються на практиці формування команд проекту. Для ситуації, коли відомі точні кількісні значення вагових коефіцієнтів a_i часткових критеріїв $K_i(x)$ або їх функцій корисності $P_i[K_i(x)]$, узагальнену корисність альтернативи $\delta \in X$ можна визначити як адитивну функцію та принцип оптимальності:

$$P(x) = \sum_{i=1}^n a_i p_i [K_i(x)], i = \overline{1, n}, \sum_{i=1}^n a_i = 1;$$

$$x^0 = \arg \max_{x \in X} \sum_{i=1}^n a_i p_i [K_i(x)], i = \overline{1, n}, \sum_{i=1}^n a_i = 1.$$

У цих виразах $K_i(x)$ – часткові критерії оцінки професійних якостей кандидатів у проект. Коефіцієнти значущості окремих критеріїв a_i визначаються експертами, виходячи з особливостей робіт в проекті і корпоративних традицій організації.

Метод прийняття рішення по кадрах використовує моніторинг метричних даних працівників у режимі online, а також цільову функцію, залежну від ймовірності окремих альтернативних сценаріїв. Критерій прийняття рішення максимізує функцію користності в умовах компромісу.

Вибір необхідних критеріїв і правил методу прийняття рішення ЛПР залежить від виду моніторингу інформації, яка є у розпорядженні ОПР. Найчастішими є ситуації умов online прийняття рішень ЛПР: умови ризику, умови невизначеності. У разі прийняття рішення в умовах ризику передбачається, що відомі ймовірності реалізацій різних сценаріїв поведінки зовнішнього середовища $y_j(t)$, і як критерій використовується маточікування значень цільової функції:

$$M(P_i^0) = \sum_{j=1}^m V_j(P_{ij} + \Delta P_{ij}),$$

де V_j – ймовірність реалізації j -го сценарію. Правило прийняття рішення для цього сценарію:

$$x^0 = \arg \max_i \sum_{j=1}^m V_j(P_{ij} + \Delta P_{ij}), i = \overline{1, m}.$$

Ухвалення рішення в умовах невизначеності ґрунтується на пошуку компромісу між ефективністю і стійкістю шуканого рішення, і визначається видом критерію вибору рішення. Найбільш вживані критерії вибору компромісу в умовах ризику і невизначеності можуть розглядатися як окремі випадки адитивної системи компромісу. Так, якщо з множини можливих значень задано два критерії $K_1(\delta)$, і $K_2(\delta)$, тоді схема вибору компромісного рішення матиме вигляд:

$$x^0 = \arg \max \sum_{i=1}^r a_i k_i(x); \sum_{i=1}^r a_i = 1.$$

Удосконалено метод метричного інтегрального оцінювання персоналу проекту (компанії), який відрізняється від аналогів застосуванням пошуку квазіоптимального покриття посадових функціональностей, що дає можливість істотно зменшити часові та матеріальні витрати на виконання проекту. *Отримав подальший розвиток* комп'ютерний метод прийняття рішень, який відрізняється від аналогів вичерпним онлайн моніторингом і цифровим управлінням, що дає можливість істотно зменшити помилки оператора в процесі функціонування критичної системи.

Четвертий розділ присвячений пошуку ефективних варіантів прийняття рішень, де розглядаються кілька методів на основі використання теорії множин і критеріїв оптимізації.

Як огляд пропонуються ітеративні технології синтезу складних об'єктів, які передбачають генерування варіантів, їх аналіз з подальшим вибором кращого з них за заданими критеріями цільової функції, що використовує кінцеву множину параметрів. Сучасні технології проектування складних об'єктів є ітераційними, що передбачають чергування процедур генерації, аналізу варіантів, вибору

кращого з них. Суть проблеми прийняття рішення представляється логічним висловлюванням «потрібно s^0 » або формально $\langle -, s^0 \rangle$ (де s^0 – оптимальне проектне рішення). Для переходу до задачі прийняття рішення виду $\langle Sit, s^0 \rangle$ потрібна декомпозиція проблеми і вирішення допоміжних завдань виду: «дано $\langle Sit, - \rangle$, потрібно $\langle Sit, s^0 \rangle$ », тобто $\langle \langle Sit, - \rangle, \langle Sit, s^0 \rangle \rangle$ або «дано $\langle -, s^0 \rangle$, потрібно $\langle Sit, s^0 \rangle$ », тобто $\langle \langle -, s^0 \rangle, \langle Sit, s^0 \rangle \rangle$. Подальша деталізація завдання прийняття рішень дозволяє зобразити її у вигляді $\langle S, \Pi \rangle$, де $S = \{s\}$ – множина варіантів проектних рішень (альтернатив); Π – принцип оптимальності.

Завдання формалізації мети в системах автоматизації проектування в найпростішому випадку зводиться до побудови цільової функції $P(s)$ на основі одного або множини показників (локальних критеріїв) ефективності $k_i(s)$, $i = \overline{1, m}$, що приймає дійсні значення на множині альтернатив $s \in S$. При цьому локальні критерії $k_i(s)$, $i = \overline{1, m}$ зазвичай мають різний фізичний зміст, розмірність, інтервал вимірювання і є суперечливими. Рішення називають ефективним $s^E \in S$ (парето-оптимальним, непокрасуваним, недомінованим), якщо не існує кращого рішення $s \in S$, тобто $s^0 > s \forall s \in S$. Завдання вибору найкращої альтернативи $s^0 \in S^E$ в обумовлених вище умовах зводиться до екстремізації функції узагальненої корисності:

$$s^0 = \arg \max_{s \in S^E} P(s).$$

Аналізуються методи виділення підмножин ефективних рішень на основі використання функцій корисності і цінності, які дають можливість визначити кращий варіант проекту-рішення. Метод на основі теореми Карліна. Підмножина ефективних S^E на опуклій множині допустимих альтернатив S знаходиться шляхом об'єднання варіантів s_i^0 , $i = \overline{1, m}$, що оптимізують кожен з локальних критеріїв $k_i(s)$, з рішеннями завдання параметричного програмування параметрів:

$$\begin{aligned} \lambda_i \in \Lambda &= \{\lambda_i: \lambda_i > 0 \forall i = \overline{1, m}, \sum_{i=1}^m \lambda_i = 1\}, \\ s_i^0 &= \arg \max_{s \in S} \{P(s) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \xi_i(s)\}, \end{aligned}$$

де $\bar{\xi}_i(s)$, $i = \overline{1, m}$ – нормоване значення або значення функції корисності i -го локального критерію. Корисність (цінність) значень часткових критеріїв $k_i(s)$, $i = \overline{1, m}$ пропонується висловлювати з використанням функцій їх належності розмитій множині «кращий варіант». Для лінійної апроксимації оцінок значень локальних критеріїв $k_i(s)$ будемо використовувати функцію цінності:

$$\bar{\xi}_i(s) = \bar{k}_i(s) = \frac{k_i(s) - k_i^-}{k_i^+ - k_i^-}, \quad i = \overline{1, m}.$$

Універсальна функція цінності:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{a}(b_1 + 1) \left(1 - \left(b_1 / \left(b_1 + \frac{\bar{k}(s)}{\bar{k}_a} \right) \right) \right), \quad 0 \leq \bar{k}(s) \leq \bar{k}_a \\ \bar{a} + (1 - \bar{a})(b_2 + 1) \times \left(1 - \left(b_2 / \left(b_2 + \frac{\bar{k}(s) - \bar{k}_a}{1 - \bar{k}_a} \right) \right) \right), \\ \bar{k}_a < \bar{k}(s) \leq 1 \end{array} \right.$$

де $\xi_i(s) = \bar{k}_i(s); \bar{k}_a \bar{a}$, – нормовані значення координат точки склеювання, $0 \leq \bar{k}_a \leq 1, 0 \neq \bar{a} \neq j; b_1, b_2$ – коефіцієнти, що визначають вид залежності на початковому і кінцевому відрізках функції.

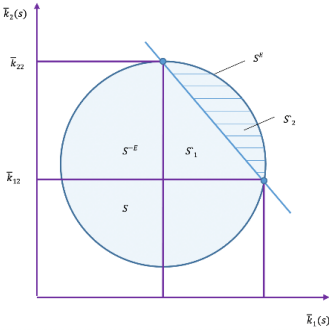


Рисунок 6 – Метод «сектора»

Зокрема, розглядається метод «сектора» (рис. 6) для пошуку опуклої підмножини проектних рішень, що задовольняють глобальному і локальним критеріям. Суть базового методу «сектора» для виділення підмножини $S_1 \supseteq S^E$ на опуклій множині допустимих проектних рішень $= \{s\}$ полягає в наступному. На множині $S = \{s\}$ проводиться оптимізація за кожним з локальних критеріїв $k_i(s), i = \overline{1, m}$, в результаті чого визначаються найкращі за кожним критерієм рішення:

$$s_i^0 = \underset{s \in S}{argextr} k_i(s), i = \overline{1, m}$$

і відповідні їм значення інших локальних критеріїв $k_j(s_j^0), j = \overline{1, m}, j \neq i$. Тоді оптимальне значення локального критерію $k_i(s)$ одне $k_i^+ = k_i(s_i^0)$, а найгірші серед значень локального критерію $k_i(s)$ в точках екстремумів за іншими критеріями дорівнюють:

$$k_i^- = \max_j k_i(s_j^0), \text{ якщо } k_i(s) \rightarrow \min,$$

$$k_i^- = \min_j k_i(s_j^0), \text{ якщо } k_i(s) \rightarrow \max.$$

Отримані пари значень $\langle k_i^+, k_i^- \rangle, i = \overline{1, m}$ є межами відображення наближеної множини $S_1 \supseteq S^E$ на простір локальних критеріїв $K(s) = [k_i(s)]_{i=1}^m$.

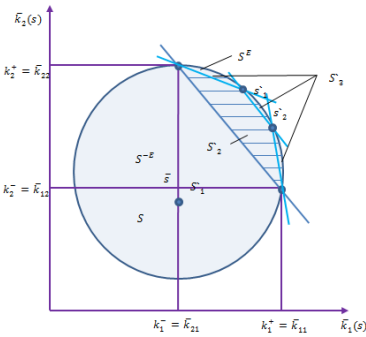


Рисунок 7 – Метод «сегмента»

На основі згаданого вище методу пропонується метод сегмента (рис. 7), який використовує оптимізацію по кожному з локальних критеріїв, що формує групу рішень, суперпозиція яких дає підмножину ефективних проектів по кадрах або процесах, формативним у вектори або матриці. Ступінь скорочення множини варіантів, які підлягають аналізу $\gamma = Cond(S)/Cond(S_2)$, також залежить від кількості локальних критеріїв m , особливостей розв'язуваної задачі проектування і використовуваних при цьому методів.

У тих же умовах запропонований метод виділення підмножини S_2 дає набагато більшу компакту підмножину варіантів проектних рішень, ніж метод «сектора». Варіанти проектних рішень ілюструються більшою компактністю в порівнянні з методом сектора. При цьому використовується процедура параметричного програмування для кінцевого числа точок-координат.

Модифікація методу сегмента має в кілька разів більшу обчислювальну складність, за рахунок чого формується підмножина рішень істотно меншої (на один - два порядки) потужності. У розділі 4 запропоновано вдосконалені методи сегментного пошуку підмножини ефективних проектних рішень, що враховують параметри трудомісткості і якості, які відрізняються від існуючих структурною відмінністю множин опуклих і неопуклих допустимих варіантів. Це дає можливість істотно зменшити час аналізу вихідної інформації для прийняття рішень без зниження їх якості. Отримані результати можуть бути використані в процедурах прийняття багатofакторних рішень в системах управління.

П'ятий розділ присвячений моделям цифровізації критичних систем, які можуть бути використані для моніторингу, аналізу даних і управління персоналом на основі метрики подібності-відмінності, яка є основою проблемно-орієнтованого комп'ютерингу.

Цифровізація індустрії є стійким трендом розвитку в світі, який визначається 40 відсотками компаній, що працюють в кіберфізичному просторі оцифрованих процесів і явищ. Тому кожен експерт-працівник сьогодні повинен бути оцифрований з виставленням йому метричної оцінки поточного стану. Оскільки результати тестування кандидатів подаються у вигляді кількості балів, обчислення значень функції корисності часткових критеріїв (характеристик параметрів) не викликає ускладнень, і остаточний вираз для визначення функції корисності альтернативи кандидата можна представити для оцінки особистісних $P^L(x)$ та $P^1(x)$ психологічних характеристик кандидатів відповідно:

$$P^L(x) = \sum_{i=1}^n a_i^L P_i^L[K_i(x)], \quad i = \overline{1, n}. \quad \sum_{i=1}^n a_i^L = 1,$$

де m, n – числа часткових критеріїв із заданим діапазоном змін для оцінки психологічних та особистісних критеріїв кандидатів.

Типова структура приладобудівного підприємства визначається компонентами: вибору матеріалів, технологічних процесів і обладнання, які взаємодіючи з працівниками, створюють продукцію або послуги на основі тимчасового фазування, що вкладається в time-to-market.

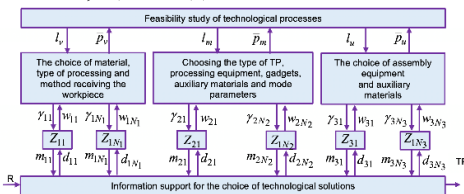


Рисунок 8 – Ієрархічна структура моделі задачі вибору рішень

статика процесів, вхідні і вихідні змінні, актуаторні і моніторні механізми.

При цьому ієрархічність структури підприємства (рис. 8) представлена декартовим добутком множин фактичних параметрів технологічних процесів, матеріалів, готової продукції. Класифікація типових процедур синтезу і аналізу (рис. 9) ставиться в залежність від існуючих моделей атрибутів виробництва: структура, функція, документація, динаміка і

Структура комп'ютерного управління персоналом в критичних системах використовує стандарт SCADA, який орієнтований на аналітику великих даних за допомогою детермінованих підходів паралельних обчислень логічних операцій і векторних процедур підрахунку подібності-відмінності текстових фрагментів і

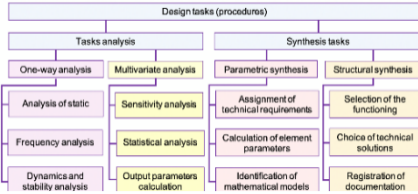


Рисунок 9 – Класифікація типових процедур синтезу та аналізу

двійкових об'єктів. Структурно метрика подібності-відмінності двох процесів, явищ, об'єктів, компонентів використовує дві формули, які оперують в бінарній алгебрі логіки двома паралельними операціями and, хог для отримання результируючих векторів:

$$S(a, b) = a_i \wedge b_i; D(a, b) = a_i \oplus b_i.$$

При цьому вводяться процедури підрахунку нормованих оцінок подібності-відмінності, які разом з векторними надають повну інформацію про взаємодію еталона з поточним об'єктом. Будь-яку пару процесів або явищ можна привести до структурної метрики однакової довжини з метою подальшого підрахунку нормованих оцінок подібності-відмінності шляхом арифметичного додавання виконання логічних умов у чисельнику і знаменнику:

$$S(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i = b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \cup b_i \neq \emptyset)}; D(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \neq b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \cup b_i \neq \emptyset)}.$$

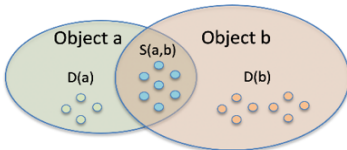


Рисунок 10 – Метричні оцінки подібності-відмінності

Модифікована метрика Левенштайна дає можливість визначити не тільки норму подібності-відмінності між об'єктами, але і створити квазі-оптимальний шлях отримання одного об'єкта із іншого. Наприклад, як створити експерта із запропонованого працівника на основі порівняння двох метрик. Він передбачає три елементарні операції: заміну,

вставку та видалення символів, які перетворюють одне слово (процес, явище) в інше. Запропоновано інше рішення для визначення подібності між словами, яке характеризується синтезом уніфікованої структури даних, що вирівнює пари слів будь-якої довжини до одного виміру, виконуючи одну операцію - вставку порожнього символу (рис.10). Як наслідок, обчислювальна складність алгоритму синтезу уніфікованої структури одного виміру зводиться до пошуку позицій для вставки кінцевого числа $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ порожніх символів з метою вирівнювання довжини з двох слів (об'єкти, процеси):

$$S(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \cap b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \cup b_i)}; D(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \Delta b_i)}{\sum_{i=1}^n (a_i \cup b_i)}.$$

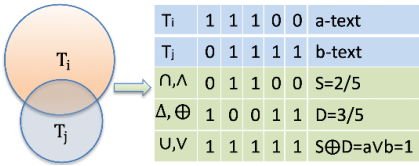


Рисунок 11 – Діаграма пошуку подібності текстових фрагментів

складність алгоритму синтезу структурної уніфікованої метрики трансформування одного слова в інше дорівнює $Q = (m \times n)^2$. Багатозначна структура пари векторів, відповідних множині слів-примитивів (T_i, T_j), може бути використана для ефективного визначення подібності текстових фрагментів, а також обчислення рівня плагіаризму. Спрощена діаграма вирішення даного завдання за допомогою трьох векторних логічних операцій може бути представлена у вигляді рис. 11. Природно, що найкращим варіантом структур даних для паралельних обчислень є унітарно кодований вектор двійковий, який забезпечує високу продуктивність обчислень на простих алгоритмах. Як приклад розглядається додаток для підрахунку подібності-відмінності, який є ядром в алгоритмах ідентифікації оцифрованих об'єктів для пошуку необхідного об'єкта (експерта) в бібліотеках або базах даних.

Sim-matrix	Resume	Text	Data	Screens	Scopus	Courses	References	E-mails	Papers
Object A (k)	450	150	560	500	40	140	15	3	470
Object B (k)	780	230	120	700	30	100	20	5	500
Similarity U	36	49	47	78	34	57	37	45	70
Similarity N	41	49	42	73	39	52	37	50	64

Рисунок 12 – Таблиця метричного порівняння пар об'єктів

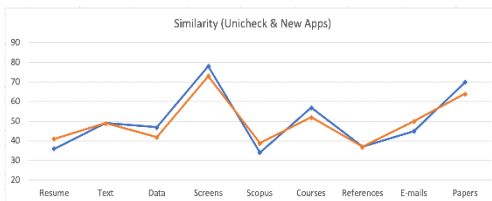


Рисунок 13 – Кореляція між оцінками двох програмних продуктів

Елементарні таблиці дають можливість перетворити теоретико-множинні операції в їхні норми, додавання яких формує точні оцінки різниці подібності. Для цього розроблені теоретико-множинні примітиви-операції, що відрізняються від відомих багатозначністю символів, які мають місце при завданні метричних векторів об'єктів. Обчислювальна

Тестування додатка представлено таблицею (рис. 12) та графіками (рис. 13), які підтверджують спроможність розроблених структур даних і алгоритмів для метричного пошуку необхідного об'єкта. Тут спостерігається кореляція між оцінками з максимальним відхиленням в 6 пунктів, отриманими в різних програмних продуктах, що свідчить про спроможність запропонованого теоретико-множинного методу для пошуку подібності-відмінності між процесами і явищами в цілях прийняття адекватних рішень.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу, що має на меті зменшення економічних, технологічних і соціальних втрат, пов'язаних з мінімізацією відмов у критичних системах шляхом підвищення компетенцій

співробітників і послідовного виключення людини з процесів прийняття рішень на основі заміни детермінованими механізмами комп'ютингу, що використовує цифрове інтелектуальне управління на основі метричного моніторингу кіберсоціальних процесів і явищ, вироблення актуаторних впливів шляхом застосування технологій Machine Learning (теорії прецедентів). Структура кіберфізичного комп'ютингу дисертації орієнтована на метричне управління кадрами і прийняття рішень на основі вичерпного збору даних і подальшого порівняння з еталонними рішеннями, що представлено на рис. 14. Одержано такі *наукові та практичні результати*:

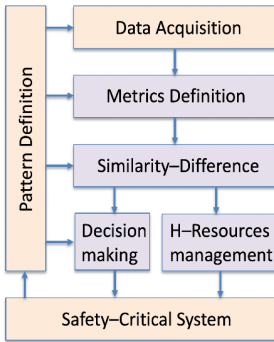


Рисунок 14 – Структура комп'ютингу дисертації

1) Вперше розроблено структурну модель комп'ютингу, яка характеризується інтерактивною онлайн взаємодією між людиною, критичною системою і механізмами точного цифрового моніторингу–управління, що дає можливість виключати відмови, які призводять до техногенних катастроф і соціальних колізій.

2) Удосконалено метричний метод відбору співробітників за заданими еталонними компетенціями, який відрізняється від аналогів урахуванням передісторії, психофізіології, досягнень, знань, умінь, навичок, що дає можливість зменшити некоректні призначення на функціональні позиції.

3) Удосконалено метод метричного інтегрального оцінювання персоналу проекту (компанії), який відрізняється від аналогів застосуванням пошуку квазіоптимального покриття посадових функціональностей, що дозволяє істотно зменшити часові та матеріальні витрати на виконання проекту.

4) Отримав подальший розвиток комп'ютинговий метод прийняття рішень, який відрізняється від аналогів онлайн моніторингом і цифровим управлінням, що дає можливість істотно зменшити кількість помилок оператора в процесі функціонування критичної системи.

5) Запропоновано вдосконалені методи сегментного пошуку підмножини ефективних проектних рішень, що враховують параметри трудомісткості і якості, які відрізняються від існуючих структурною відмінністю множин опуклих і неопуклих допустимих варіантів, що дозволяє істотно зменшити час аналізу вихідної інформації для прийняття рішень без зниження їх якості.

6) Запропоновано новий теоретико–множинний метод і його програмну імплементацію для істотного підвищення продуктивності пошуку даних, який характеризується *og*–метрикою визначення подібності–відмінності текстових фрагментів–об'єктів, що дає можливість визначати подібність об'єктів, стратегію трансформування одного об'єкта в інший, а також ідентифікувати рівень цифрової спільності інтересів, конфліктності, плагіаризму, колізій.

Практична значущість. Результати моделювання, проведеного тестування та верифікації розроблених моделей і методів онлайн моніторингу та цифрового

управління компонентами сучасної критичної системи показали істотне зменшення помилкових дій операторів за рахунок зменшення відмінностей між метриками еталонних компетенцій і реальних фахівців.

Результати дослідження у складі моделей, методів і фрагментів додатків впроваджені в навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки (акт про впровадження від 26.11.2020), у науково-виробничу діяльність ТОВ «Проектування та діагностування систем» (довідка від 30.11.2020).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список публікацій здобувача, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. *Шевченко О.Ю.* Оценка полноты и достоверности информационного обеспечения технологической подготовки производства [Текст] / О. Ю. Шевченко, А. С. Котов, Д. Э. Лысенко // Системи обробки інформації. – Харків, 2009. – Вип. 4 (78). – С. 199–202. (Входить до міжнародних наукометричних баз: Ulrich's Periodicals Directory, CrossRef, Index Copernicus, General Impact Factor, Scientific Indexed Service, Citefactor, ResearchBib, Orcid, Academic Resource Index, Google Scholar).

2. *Котов А.С.* Концептуальное моделирование информационного обеспечения автоматизированного проектирования технологических процессов / А.С. Котов, О.Ю. Шевченко // Системи управління навігації та зв'язку. – 2009. – № 3 (11). – С. 211–215. (Входить до міжнародних наукометричних баз: Index Copernicus, Google Scholar).

3. *Котов А.С.* Иерархическая теоретико–множественная модель задачи выбора технологических решений / А.С. Котов, О.Ю. Шевченко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – № 1. – С. 149–153. (Входить до міжнародних наукометричних баз: наукової електронної бібліотеки eLIBRARY.RU, Index Copernicus; INSPEC IDEAS; Google Scholar).

4. *Шевченко О.Ю.* Модели и методы киберсоциального компьютеринга управления персоналом для критических систем / О.Ю. Шевченко, В.И. Хаханов, С.В. Чумаченко // Радиоелектроника и информатика. – № 1. – 2020. – С. 42–46. (Входить до міжнародних наукометричних баз: Index Copernicus, Google Scholar, OECSP, OAJI, Scholar Steer, SIS, Cyberleninka, TIU Hannover, I2OR, Національної бібліотекою України ім. В.І. Вернадського).

5. *Shevchenko O.Y.* Specific subset effective option in technology design decisions / O. Y. Shevchenko, V. V. Beskorovainyi, L. B. Petryshyn // Applied Aspects of Information Technology, 2020. – Vol. 3. – No. 1. – С. 443–455. (Входить до міжнародних наукометричних баз: Academia.edu, ROAD, the National Library of Ukraine named after V.I. Vernadsky, Djerelo, RISC, Ukraine Naukova, Index Copernicus).

6. *Shevchenko O.Yu.* Search and Analysis of Data Based on Similarity-Difference Metric / O.Yu. Shevchenko, Hahanov I.V., Hahanov V.I. // East European Scientific

Journal. – 2021. – № 65. – Р. 54-60. (Польский науковий журнал, входить до міжнародних наукометричних баз: Index Copernicus, Google Scholar, РИНЦ).

Результати, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Котов А.С. Применение прецедентного подхода при разработке научно-технической продукции / А.С. Котов, О.Ю. Шевченко // VII Международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проектами», Алушта, 2009. – С. 119.

8. Котов А.С. Структурное моделирование информационного обеспечения проектирования технологических процессов / А.С. Котов, О.Ю. Шевченко // Современные проблемы управления производством // Сб. тезисов 4-й Международной науч.-практ. конф. – Донецк. – 2009. – С. 152.

9. Бескоровайный В.В. Оценка деятельности операторов сложного технологического оборудования / В.В. Бескоровайный, О.Ю. Шевченко // Информационные системы и технологии: материалы 4-й Междунар. науч.-техн. конф. ИСТ–2015. – Харьков, НТМТ. – 2015. – С. 34–35.

10. Бескоровайный В.В. Формирование компетентностного резерва операторов критических систем в рамках прецедентного подхода / В.В. Бескоровайный, О.Ю. Шевченко // Міжнародна науково-практична конференція «Математичне моделювання процесів в економіці та управлінні проектами і програмами (ММП–2017)». – Кobleво. – 2017. – С.25–26.

11. Бескоровайный В.В. Модель системної оптимізації технологічних об'єктів / В.В. Бескоровайний, О.Ю. Шевченко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання». – Івано-Франківськ. – 14 - 19 травня 2018. – С. 327–330.

12. Semenets V. Technological Chain Modeling to Control the Quality of New Product Manufacturing / V. Semenets, V. Beskorovainyi, O. Shevchenko // Proceedings of the 7-th International Scientific and Technical Conference Information Systems and Technologies, IST–2018. – 2018. – Kobleve–Kharkiv. – P. 69–72.

13. Abdullayev V. Structure and Metrics of Emerging Computing / V. Abdullayev, H. Khakhanova, I. Hahanov, V. Hahanov, S. Chumachenko, E. Litvinova, O. Shevchenko // The XIII IEEE International Conference TCSET. – 2020. – Lviv–Slavsk, Ukraine. – P. 920-925. (Входить до міжнародних наукометричних баз: Scopus, IEEE Xplore).

14. Семенець В.В. Виділення підмножин ефективних рішень в задачах реінжинірингу технологічних систем / В.В. Семенець, В.В. Бескоровайний, О.Ю. Шевченко, О.М. Драз // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання". – Івано-Франківськ. – 2019. – С. 53–56.

15. Бескоровайный В.В. Стратегии генерации вариантов в технологиях оптимизации структур территориально распределенных объектов / В.В. Бескоровайный, О. Шевченко, О.М. Драз // Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційні системи та технології» ІСТ–2019. – Харків. – 2019. – С. 18–21.

16. *Бескоровайный В.В.* Моделирование задачи выбора технологических решений / В.В. Бескоровайный, О.Ю. Шевченко, О. М. Драз // Міжнародна науково-практична конференція «Інтелектуальні системи та інформаційні технології». – 2019. – Одеса, Україна. – С. 31–35.

17. *Semenets V.* Parametric Synthesis of Multi-Criteria Evaluation Models for UAV Design Technologies / V. Semenets, V. Beskorovainyi, O. Shevchenko // 2019 IEEE 5th International Conference “Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments” (APUAVD). – Oct. 22–24, 2019. – Kyiv, Ukraine. – P. 83–86. (Входить до міжнародних наукометричних баз: Scopus, IEEE Xplore).

18. *Abdullayev V.H.* Big Data Critical Computing Based on the Similarity-Difference Metric / V.H. Abdullayev, L.N. Shapa, V. Hahanov, A. Mishchenko, O. Shevchenko, S. Chumachenko, E. Litvinova // 18-th IEEE East-West Design & Test Symposium, EWDTs 2020. – Varna, Bulgaria. – 2020. – P. 218-223. (Входить до міжнародних наукометричних баз: Scopus, IEEE Xplore).

АНОТАЦІЯ

Шевченко О. Ю. Моделі і методи кіберсоціального комп'ютерного управління персоналом для критичних систем. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2021.

Дисертаційна робота спрямована на зменшення економічних, технологічних і соціальних втрат, пов'язаних з мінімізацією відмов у критичних системах шляхом підвищення компетенцій співробітників і послідовного виключення людини з процесів прийняття рішень на основі її заміни детермінованими механізмами комп'ютерного управління, що використовує цифрове інтелектуальне управління на основі метричного моніторингу кіберсоціальних процесів і явищ. Отримано результати, які характеризуються науковою новизною: структурна модель комп'ютерного управління, що характеризується інтерактивною онлайн взаємодією між людиною, критичною системою і механізмами точного цифрового моніторингу-управління, що дає можливість виключати відмови, які призводять до техногенних катастроф і соціальних колізій; теоретико-множинний метод пошуку даних, який характеризується *og*-метрикою визначення подібності-відмінності текстових фрагментів-об'єктів, що дає можливість знаходити подібність об'єктів, стратегію трансформування одного об'єкта в інший, а також ідентифікувати рівень цифрової спільності інтересів, конфліктності, плагіаризму, колізій; метричний метод відбору співробітників за заданими еталонними компетенціями, який відрізняється від аналогів урахуванням передісторії, психофізіології, досягнень, знань, умінь, навичок, що дає можливість зменшити некоректні призначення на функціональні позиції; метод метричного інтегрального оцінювання персоналу проекту (компанії), що відрізняється від аналогів застосуванням пошуку

квазіоптимального покриття посадових функціональностей і дає можливість істотно зменшити часові і матеріальні витрати на виконання проекту; комп'ютерний метод прийняття рішень, який відрізняється від аналогів вичерпним онлайн моніторингом і цифровим управлінням, що дає можливість істотно зменшити помилки оператора в процесі функціонування критичної системи; методи сегментного пошуку підмножини ефективних проектних рішень, що враховують параметри трудомісткості і якості, які відрізняються від існуючих структурною відмінністю множин опуклих і неопуклих допустимих варіантів. Це дає можливість істотно зменшити час аналізу вихідної інформації для прийняття рішень без зниження їх якості.

Ключові слова: кіберфізична система, кіберфізичний комп'ютер, кіберсоціальний комп'ютер, хмарно-керований комп'ютер, розумний кіберуніверситет, цифровий моніторинг, метрика простору, метрика компетенцій, проектування технологічних процесів, архів технологічних рішень, метод аналогій, концептуальне, інформаційне та семантичне моделювання, технологічна підготовка виробництва, архів технологічних рішень, прийняття рішень, теоретико-множинна модель, завдання вибору, оптимізація, багатокритеріальна оцінка, ідентифікація.

ABSTRACT

Shevchenko O. Y. Models and methods of cyber-social personnel management computing for critical systems. – On the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences (PhD) in specialty 05.13.05 – Computer systems and components. – Kharkov National University of Radio Electronics, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkov, 2021.

A Thesis is focused on reducing economic, technological and social expenses associated with minimizing failures in critical systems through increasing employee competencies and consistent excluding human from decision-making processes and replacing it by deterministic computing mechanisms using digital intelligent management based on metric monitoring of cyber-social processes and phenomena. The following results which characterised by scientific novelty are obtained: a structural model of computing, which is characterized by interactive online interaction between human, critical system and mechanisms of accurate digital monitoring-management, which makes it possible to exclude failures that lead to man-made disasters and social conflicts; a set-theoretical method of data retrieval, which is characterized by or-metrics for defining the similarities-differences of text fragments-objects, which allows determining the similarity of objects, the strategy of transforming one object into another, and identify the level of digital common interests, plagiarism, conflicts; a metric method of selecting employees for the given reference competencies that differs from analogues taking into account the background, psychophysiology, achievements, knowledge, skills, abilities, and makes it possible to reduce incorrect appointments to functional positions; a method for metric integrated evaluation of project (company)

staff, which differs from analogues by searching for quasi-optimal coverage of job functionalities and allows to significantly reduce the time and material costs of the project; a computing method for decision-making that differs from analogues by exhaustive online monitoring and digital management and allows essential reducing operator errors when functioning of critical system; methods for segmental searching a subset of effective design solutions, which take into account the parameters of complexity and quality and differ from the existing analogs by structural differences between the sets of convex and nonconvex admissible variants. This results significantly reduce the time of analysis of input information for decision-making without reducing their quality.

Keywords: cyber-physical system, cyber-physical computing, cyber-social computing, cloud-controlled computing, smart cyber university, digital monitoring, metrics of space, metrics of competencies, design of technological processes, archive of technological solutions, method of analogies, conceptual, informational and semantic modeling, technological preparation of production, archive of technological decisions, decision-making, set-theoretic model, choice task, optimization, multicriteria evaluation, identification.