МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗАМРІЙ ІРИНА ВІКТОРІВНА

УДК 004.052; 004.056

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Спеціальність 05.13.06 «Інформаційні технології»

РЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2023

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному університеті інформаційно-комунікаційних технологій Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Корнага Ярослав Ігорович**, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», декан Факультету інформатики та обчислювальної техніки;

доктор технічних наук, професор **Аль-Амморі Алі Нурддинович**, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки;

доктор технічних наук, професор **Машков Олег Альбертович**, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, професор кафедри екологічної безпеки.

Захист відбудеться 21 вересня 2023 року об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.861.05 у Державному університеті інформаційно-комунікаційних технологій за адресою: 03110, м. Київ, вул. Солом'янська, 7, конференц-зал.

З дисертацією можна ознайомитись на офіційному сайті https://duikt.edu.ua та у бібліотеці Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій за адресою: 03110, м. Київ, вул. Солом'янська, 7.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.861.05
кандидат педагогічних наук, доцент В.О. Корецька

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Безперервна інтенсифікація та інформатизація призводить до необхідності зводити функції керування до автоматизації та використання інформаційних систем, які розширюють можливості у їх реалізації.

Функціонування закладу вищої освіти безпосередньо пов'язане з інформаційними, людськими, матеріальними та фінансовими ресурсами і для ефективного вирішення завдань управління цими ресурсами рішення полягає у впровадженні інформаційної системи закладу вищої освіти, що ґрунтується на понятті єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти. Поняття єдиного інформаційного простору передбачає, що інформаційні ресурси включають дані та додатки інформаційної системи, які реалізовані як частина методів обробки інформації і до них на певних рівнях можуть мати доступ інші інформаційні системи. При цьому додатки можуть виступати і клієнтами і серверами один для одного і спільно вирішувати деякі завдання. Як наслідок інформаційні ресурси використовуються значно ефективніше, оскільки виникає оптимальний баланс між програмним і апаратним навантаженням, а витрати на управління, підтримку і модифікацію інформаційної системи закладу вищої освіти у складі єдиного інформаційного простору зменшуються, оскільки інформація і методи їх обробки локалізовані в межах конкретної інформаційної системи. Крім того, концепція єдиного інформаційного простору включає: міжнародні стандарти; можливості до розширення шляхом легких алгоритмів додавання нових складових до інформаційної системи; можливість інтеграції працюючі додатки в нові; зменшення витрат на експлуатацію.

Дослідження питання інформаційного простору для закладу вищої освіти проводилося у роботах Yakovis L., Dron J., Schmidt A., Otto B., Xie H., Cheng G., Anderson T., Chen X., Зуєва П., Осадчого В.В., Мурадова В.Х., Вишнівського В.В., Омарова М.А.. Але ці роботи здебільшого стосувалися інформатизації навчального процесу, тобто створення інформаційних систем таких як автоматизована система управління навчальним процесом, система дистанційного навчання, інформаційний портал закладу вищої освіти та ін... Тобто, проблема створення єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти як об'єднання всіх інформаційних систем, технологій та інформаційних ресурсів для ефективного управління всім закладом залишається актуальною.

З іншого боку важливими умовами функціонування інформаційної системи є забезпечення відмовостійкості і надійності системи, підвищений захист інформації в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів. Питаннями надійності та відмовостійкості інформаційних систем займалися Вишнівський В.В., Машков В.А., Авіжиєніс А.А., Ільїн О.Ю., Коростіль Ю.М. та інші. Властивість системи залишатися стійкою щодо зовнішніх інформаційних впливів досліджували Ланде Д.В., Субач І.Ю., Додонов О.Г., Шушура О.М. та інші.

Дестабілізуючі фактори та конфлікти в системі призводять до збоїв у функціональних процесах інформаційної системи. Запобігання даним впливам

відбувається шляхом забезпечення функціональної стійкості інформаційної системи, тобто здатності системи зберігати або відновлювати визначені функції системи під дією впливу дестабілізуючих факторів в режимі реального часу.

Розвиток підходів до вирішення проблеми синтезу функціонально стійких систем є складним процесом. Одним із способів є формування системи правил для ефективного управління функціональною стійкістю системи. Наукові дослідження щодо критеріїв, показників, ознак та методів забезпечення функціональної стійкості інформаційних систем базуються на роботах Машкова О.А., Барабаша О.В., Обідіна Д.М., Гостєва В.І., Додонова А.Г., Кравченко Ю.В. , В.А. Савченко, та ін.

Незважаючи на значну увагу до проблеми забезпечення функціональної стійкості інформаційних систем однією з головних вимог до систем є якісне виконання основних функцій, її висока ефективність і безпека в режимі роботи 24/7. Це вирішується шляхом забезпечення надійності та функціональної стійкості мережі при побудові інформаційної системи, але залишається складною науково-технічною проблемою через складність оцінки функціональної стійкості інформаційної системи, що пов’язано з використанням різними розробниками різних методів оцінки роботи системи та різних технологій, здійснення різного характеру впливу на мережу інформаційної системи, необхідність забезпечення високого рівня безпеки і мобільності користувачів без зменшення показників якості функціонування системи. Через що і виникає протиріччя між принциповою можливістю побудови високоефективної функціонально стійкої інформаційної системи закладу вищої освіти на основі використання передових досягнень в області інформаційних технологій і недостатньою ефективністю існуючих інформаційних систем закладів вищої освіти, які не забезпечують заданий рівень функціональної стійкості.

Тому тематика дисертаційної роботи направлена на вирішення даного протиріччя, тобто, розробку науково-методичного апарату управління продуктивністю, конфігурацією та безпекою з метою ефективного використання сучасних інформаційних та апаратних ресурсів інформаційної системи закладу вищої освіти для забезпечення її функціональної стійкості.

У дисертаційній роботі досліджена актуальна проблема розробки методологічних основ побудови функціонально стійкої інформаційної системи закладу вищої освіти, яка відрізняється від існуючих тим, що вона базується на виявленні дестабілізуючих факторів і реконфігурації інформаційної системи.

Зв’язок з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційної роботи і отримані результати безпосередньо відповідають пріоритетності розвитку інформаційних та комунікаційних технологій в Україні, що сформульовано в Законі України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», від 11.07.2001 № 2623-III.

Дисертаційна робота виконана відповідно до планів наукової і науково-технічної діяльності Державного університету телекомунікацій і є частиною досліджень в рамках науково-дослідних робіт:

- «Забезпечення функціональної стійкості інформаційних систем

підприємства в умовах впливу дестабілізуючих факторів із застосуванням нейронних мереж» (шифр «РІС», Державний реєстраційний номер 0121U107501, Державний університет телекомунікацій, м. Київ);

- «Розробка методики побудови оптимальної системи передачі інформації інфокомунікаційної мережі» (шифр «ОСПІ», Державний реєстраційний номер 0115U004571, Державний університет телекомунікацій, м. Київ, 2019 р.);

- «Розробка методики побудови оптимальної системи передачі інформації інфокомунікаційної мережі промислового підприємства» (НДР за договором №02/20 від 02.06.2020 р. між Державним університетом телекомунікацій та ПП «Фірма «Модуль», Київ, 2020 р.);

- «Математичні моделі та інструментарій забезпечення функціональної стійкості інформаційних систем» (НДР за договором №09/21 від 22.03.2021р. між Державним університетом телекомунікацій та ПП «Ес Енд Бі Системс», Київ, 2021 р.)

Особисто автором у вище зазначених науково-дослідних роботах запропоновано: концепція побудови інформаційної системи засобами програмно-визначених мереж; методологічні основи побудови та управління функціонально стійкою інформаційною системою засобами SD-WAN.

Мета і задачі дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає у забезпеченні функціональної стійкості інформаційної системи закладу вищої освіти в умовах впливу дестабілізуючих факторів і ґрунтується на реконфігурації ієрархічної структури інформаційної системи закладу вищої освіти та перерозподілу її ресурсів.

У відповідності до поставленої мети, для вирішення науково-прикладної проблеми, в роботі сформульовано такі **завдання**:

– провести аналіз і перспективи використання сучасних інформаційних систем в закладі вищої освіти;

– провести аналіз структури та інформаційних просторів закладу вищої освіти;

– дослідити можливості впровадження програмно-визначених глобальних мереж;

– розробити модель інформаційної системи закладу вищої освіти засобами програмно-визначених глобальних мереж;

– розробити модель єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти та алгоритми розпізнавання даних в ньому;

– розробити модель управління єдиним інформаційним простором;

– розробити методику підвищення функціональної стійкості інформаційної системи в режимі реального часу в умовах дії дестабілізуючих факторів, що впливають на її продуктивність і функціонування;

– розробити методологію забезпечення властивості функціональної стійкості інформаційної системи закладу вищої освіти;

– обґрунтувати доцільність використання функціонально стійкої інформаційної системи закладу вищої освіти.

Об’єктом дослідження є процес підвищення функціональної стійкості інформаційної системи закладу вищої освіти.

Предметом дослідження є методи, моделі та інформаційні технології забезпечення функціональної стійкості інформаційної системи закладу вищої освіти засобами програмно-визначеної глобальної мережі.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі в залежності від поставленого завдання використано різні методи дослідження. Використання системного підходу та теорії ігор при забезпеченні достатнього рівня функціональної стійкості під впливом структурної або функціональної деградації, що впливає на продуктивність системи. Основи теорії систем при розробці моніторингу та функціонування інформаційної системи. Основи теоретико-множинного формалізму та теорії інформації при розробці моделі управління на основі єдиного інформаційного простору. На основі теорії графів, теорії ймовірностей, теорії оптимізації, матричного аналізу та аналітичного моделювання ґрунтуються теоретичні основи функціональної стійкості інформаційних систем.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у такому:

1. Розроблено концепцію побудови функціонально стійкої інформаційної системи наукова новизна якої полягає в тому, що вона ґрунтується на управлінні процесом передачі даних на основі технології SD-WAN з криптостійким шифруванням, автентифікацією кінцевих точок та дозволяє підвищити продуктивність системи.

2. Розроблено модель інформаційної системи закладу вищої освіти, наукова новизна якої полягає в тому, що вона ґрунтується на відновленні показників продуктивності якості обслуговування та забезпечує уніфікований набір функцій і функціональних можливостей для доступу до інформаційної системи незалежно від місця знаходження користувачів.

3. Розроблено модель єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти, наукова новизна якої полягає в тому, що вона ґрунтується на методі вибору якісного набору ознак елементів, які дозволяють розпізнавати довільні елементи з різних інформаційних систем.

4. Удосконалено модель управління інформаційною системою, яка відрізняється від існуючих тим, що ґрунтується на теорії інформації та дозволяє визначити мінімальний обсяг управляючої інформації при якій параметри мережі матимуть задану точність та забезпечувати необхідну пропускну здатність інформаційної системи.

5. Удосконалено мережу інформаційної системи закладу вищої освіти, яка відрізняється від існуючих тим, що вона ґрунтується на централізації управління мережею, автоматизації процесів конфігурації та управління та дозволяє забезпечити масштабованість мережі, досягати стабільної безпеки незалежно від місця розташування.

6. Розроблено методику забезпечення безпеки інформаційної системи закладу вищої освіти, наукова новизна якої полягає в тому, що вона базується на виявленні дестабілізуючих факторів та дозволяє забезпечити реконфігурації мережі інформаційної системи і безпечний доступ користувачам з будь-якого місця, а також захищати цифрові активи закладу вищої освіти.

7. Розроблено методологію побудови інформаційної системи закладу вищої освіти, наукова новизна якої полягає в об'єднанні всіх організаційних структур, інформаційних ресурсів та зовнішніх інформаційних впливів для організації інформаційної системи на основі захищеного єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти, систем, технологій, методів та дозволяє забезпечити функціональну стійкість інформаційної системи закладу вищої освіти.

Практичне значення отриманих результатів.

Реалізація запропонованих у дисертації інформаційних технологій та методологічних основ забезпечення функціональної стійкості інформаційної системи закладу вищої освіти, дозволяє:

- проектувати та експлуатувати функціонально стійкі інформаційні системи закладу вищої освіти, які функціонують в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів;
- підвищити показники функціональної стійкості існуючих інформаційних систем до порушень на основі виявлення загроз та реконфігурації програмно-визначених глобальних мереж.

Результати досліджень прийняті до впровадження в Інституті програмних систем НАН України (акт впровадження від 15.11.2022 р.), в ТОВ «РЕНТСОФТ» (акт впровадження від 07.12.2022 р.), в Науково-методичному центрі кадрової політики Міністерства оборони України (акт впровадження від 15.11.2022 р.), в Інституті телекомунікацій і глобального простору НАН України (акт впровадження від 26.10.2022 р.), в ТОВ «Хуавей-Україна» (акт впровадження від 12.10.2022 р.) та в навчальний процес Державного університету телекомунікацій (акт впровадження від 30.01.2023 р.).

Особистий внесок здобувача. Всі положення, які виносяться на захист, належать особисто автору. В роботах, які опубліковано в співавторстві, особисто здобувачу належать: в [1] розробка математичного апарату, що дозволяє виключити можливість помилки аналізу сигналів зовнішніх впливів на інформаційну мережу; в [2] досліджено індивідуальну стратегію планування експлуатації технічних систем в залежності від їх фактичного стану з урахуванням особливостей даної конкретної системи; в [4] удосконалено методику забезпечення властивості функціональної стійкості інтелектуальної інформаційної системи на основі процедур моніторингу та діагностування модуля, що відмовив; в [5] проведено аналіз запитів, задач і планів при багаторазовій оптимізації запитів до інформаційної системи; в [6] розроблено математичний апарат у застосуванні до кодування сигналів на основі фрактального аналізу; в [7] розроблено методику обробки даних в інформаційних системах; в [8] проведено аналіз сучасних інформаційних технологій та перспектив використання хмарних технологій; в [10] проведено аналіз способів усунення дефіциту інформації в системі; в [11] розроблено інтелектуальну систему аналізу та прогнозування стійкості з використанням паралельних обчислень, яка гарантує виконання необхідних умов забезпечення функціональної стійкості; в [13] досліджено умови організації підприємства та його інформаційного простору, розроблено структуру єдиного інформаційного

простору підприємства з набором баз даних; в [14] розроблено математичний апарат для оптимізації мережі інформаційної системи; в [15] проведено аналіз безпеки в технологіях віртуалізації мережі; в [17] розроблено інфраструктуру хмарних сервісів та хмарних сховищ; в [18] розроблено алгоритм підвищення якості процесу проектування та розробки об'єктів інформаційних систем; в [19] досліджено використання математичного апарату теорії наближень для прогнозування і виявлення дестабілізуючих факторів і впливів на інформаційну систему; в [20] розроблено математичний апарат шифрування даних на основі фрактального аналізу для підвищення безпеки в мережі; в [21] розроблено метод розпізнавання інформаційних ресурсів в єдиному інформаційному просторі; в [22] розроблено алгоритм контролю та прогнозування функціональної стійкості інформаційно-технічної системи; в [23] розроблено модель визначення повноти інформаційної системи, яка характеризує рівень автоматизації управлінських робіт; в [24] розроблено модель єдиного інформаційного простору закладу освіти; в [25] проведено математичне моделювання показників функціональної стійкості системи; в [26] проведено аналіз способів резервування ресурсів мережі; в [27] досліджено ефективність повторюваних нейронних мереж для боротьби в кіберпросторі; в [30] розроблена математична модель перетворення сигналів, що ґрунтується на теорії фрактального аналізу, для підвищення захисту інформації в інформаційній системі; в [31] досліджено використання математичного апарату теорії наближень до виявлення деструктивних впливів на інформаційну систему.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційних досліджень доповідалися й обговорювалися на таких конференціях і семінарах:

– XIII Міжнародна науково-технічна конференція студентства та молоді «Світ інформації та телекомунікацій» (м. Київ, 2021);

– VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Інформатика, управління та штучний інтелект» (м. Харків – м. Краматорськ, 2021);

– 2021 IEEE 3th International Conference «Advanced Trends in Information Theory» (Kyiv, 2021);

– International scientific and practical conference «Information security and information technologies» (Kharkiv – Odesa, 2021);

– VIII Міжнародна науково-технічна Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами» (м. Київ, 2021);

– XIII Науково-технічна конференція «Сучасні інфокомунікаційні технології» (м. Київ, 2021);

– 2021 IEEE 3th International Conference «Advanced Trends in Information Theory» (Kyiv, 2021);

– Міжнародна науково-практична конференція «Системний аналіз, інтелектуальні системи для бізнесу та управління» (м. Київ, 2022);

– 2022 IEEE 4th International Conference «Advanced Trends in Information Theory» (Kyiv, 2022);

– IX Міжнародна науково-технічна конференція «Інформатика, управління та штучний інтелект» (м. Харків – м. Краматорськ, 2022);

– 2022 IEEE 3rd International Conference «System Analysis & Intelligent Computing» (Kyiv, 2022);

– 2022 IEEE 4th International Conference «Advanced Trends in Information Theory» (Kyiv, 2022);

– International Conference «Smart Technologies in Urban Engineering Proceedings» (Kharkiv, 2022).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 44 наукових праці. Основні наукові положення викладено у 31 наукових статтях [1 – 31], що опубліковані у фахових наукових виданнях України та закордонних періодичних виданнях. Із них 6 статтей [6, 10, 19, 20, 30, 31] опубліковані у наукових періодичних виданнях, проіндексованих у науко-метричній базі SCOPUS; 1 стаття [25] опублікована у науковому періодичному виданні, проіндексованому у науко-метричній базі Web of Science; 2 колективні монографії [9, 30]; 6 статтей у періодичних виданнях ЄС; 16 статтей у наукових фахових виданнях України категорії «Б». За матеріалами виступів на науково-технічних конференціях опубліковано 13 публікацій [32 – 44], серед яких сім [34, 37, 38, 41, 42, 43, 44] проіндексовано в науко-метричній базі SCOPUS.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, 2 додатків на 13 сторінках та списку використаних джерел з 256 найменувань на 31 сторінці. Повний обсяг дисертації 363 сторінки, з них 316 сторінок основного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано науково-прикладну проблему, мету, об’єкт, предмет, завдання дослідження, наукову новизну одержаних результатів, практичне значення результатів, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами досліджень Державного університету телекомунікацій. Визначено особистий внесок здобувача, відомості про апробацію результатів роботи, публікації.

У першому розділі проводиться аналіз стану та перспектив розвитку сучасних інформаційних систем. Основним напрямком удосконалення інформаційних систем, що впливає на перебудову її інфраструктури в умовах постійного розвитку інформаційних технологій є перехід на гібридну інфраструктуру для підтримки мобільності, системи управління, забезпечення заданого рівня надійності, заходів безпеки.

Зміни в організації та техніці управління під впливом інформаційних технологій і автоматизації процесів докорінно змінюють роботу зі збору, обробки і поширення інформації для підтримки чистоти інформаційних каналів, запобігання неповноти інформації, дублювання та введення інформації, призначеної для інших рівнів управління, тому покращення інфраструктури інформаційної системи закладу вищої освіти полягає у розробці єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти, що ґрунтується на виборі якісного набору ознак елементів інформаційних просторів та різних інформаційних систем.

Однією з основних характеристик якості функціонування

інформаційної системи закладу вищої освіти на основі єдиного інформаційного простору є її функціональна стійкість, тому проведено аналіз підходів та проблем пов'язаних з побудовою та впровадженням функціонально стійких інформаційних систем.

Після проведеного аналізу був сформований висновок, що функціонування закладу вищої освіти безпосередньо пов'язане з інформаційними, людськими, матеріальними та фінансовими ресурсами і для ефективного вирішення завдань управління цими ресурсами рішення полягає у впровадженні інформаційної системи закладу вищої освіти, що ґрунтується на понятті єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти, що дозволить створити оптимальний баланс між програмним і апаратним навантаженням, зменшити витрати на управління, підтримку і модифікацію інформаційної системи закладу вищої освіти, забезпечити функціонально стійку інфраструктуру.

В кінці першого розділу проведено постановку науково-практичної проблеми щодо розробки методологічних основ побудови функціонально стійкої інформаційної системи закладу вищої освіти, яка відрізняється від існуючих тим, що вона базується на виявленні дестабілізуючих факторів і реконфігурації інформаційної системи, а також сформульовані часткові наукові завдання для досягнення поставленої мети дослідження.

Другий розділ присвячено розробці концепції побудови функціонально стійкої інформаційної системи (ІС) закладу вищої освіти (ЗВО).

Завдяки оптимальній структурі ІС та забезпечені ефективної організації її роботи, забезпечення необхідного рівня функціональної стійкості ІС у процесі розробки та експлуатації не тільки скорочує простої, а й значно підвищує ефективність роботи ІС. Тому дослідження питань підвищення керованості, надійності та захисту від кібератак повинно проводитися з точки зору вивчення різних способів побудови функціонально стійкої ІС ЗВО.

Розробка концепції побудови функціонально стійкої ІС ЗВО на основі застосування системного підходу має на меті підвищення ефективності забезпечення комплексного використання різних методів, моделей та інформаційних технологій для дослідження загальних і конкретних параметрів ІС. Це дасть можливість розробити та забезпечити ефективне функціонування на заданому рівні функціональної стійкості ІС ЗВО.

Оскільки процес розпізнавання нових ознак складних процесів нерозривно пов'язаний з процесом диференціації, дослідженням окремих параметрів процесів із використанням найбільш раціональних методів. Таким чином, концепція побудови функціонально стійкої ІС ЗВО ґрунтується на методі детального дослідження та аналізу складових задач та синтезу отриманих результатів відповідно до принципів системного підходу.

Нехай $g(x_1, \dots, x_\varphi)$ функція, що містить з K інтелектуальних блоків, які виконують різні за складністю функції та складаються з компонентів, які є рівноймовірними, статично незалежними і мають розподіл часу між відмовами, реалізує ІС IS закладу вищої освіти при безвідмовній роботі. Крім того, k — кількість всіх одноразових відмов або зниження надійності у всіх K, Q_i — стан ІС при якому є i-та ($i \leq k$) відмова, $g^*(x)$ — функція яка реалізує відмову або

знижена надійності в ІС під впливом дестабілізуючих факторів та набуває значень, що виходять за встановлені при навчанні допустимі межі, $p(t)$ — ймовірність безвідмовної роботи ІС. Функціональну надійність ІС, тобто ймовірність реалізації заданої функції $g(x)$ при наявності відмов j_{i-1} кратності j, розраховують використовуючи розв'язок системи диференціальних рівнянь для довільного t. Робота ІС ЗВО залежить від трьох основних блоків: аналізу для визначення необхідності створення нових і корекції існуючих структур в ІС, оптимізації для внесення змін в структуру, що буде оптимальною для забезпечення ефективного функціонування, та інтелектуального блоку для прогнозування надійності ІС та прийняття рішень у разі впливу дестабілізуючих факторів на продуктивність та безпеку ІС.

Для одиночних відмов у ІС процес їх виникнення є пуасонівським з параметром α, а сама ІС може перебувати у скінченній кількості станів. Відновлювана IS в залежності від виду чергової $j+1$-ї відмови може перейти або в новий стан Q_{j+1} або стан відновлення $Q_{j,j+1}$, який є одним із станів в якому ІС продовжує працювати, або ж у стан повної відмови системи Q_i. Причому із станів Q_{i-1} система може перейти лише в стан Q_i. Вважатимемо, що інтенсивність відновлення працездатного стану IS є постійною для будь-якого стану $Q_{j,j+1}$.

Розв'язок системи диференціальних рівнянь, що описує функціональну стійкість ІС, використовується для обчислення коефіцієнта працездатності β в заданий момент часу, ймовірності середнього часу безперебійної роботи ІС та перебування ІС в стані відновлення.

Визначення типу відновлювання ІС та алгоритму відновлення, який забезпечує працездатність системи на відрізку $[0,t]$ з імовірністю не нижче заданого β, з мінімальним втручанням в роботу ІС, при заданому співвідношенні між інтенсивністю відмов (α_0, α_1) і несправностей $(0, \alpha_1^*)$ є пріоритетною задачею для забезпечення максимального середнього часу працездатності ІС ЗВО.

Для даного переходу розглянемо алгоритм, де на вхід блоку подається інформація про початкову структуру, при цьому для автоматичної побудови і роботі з цією моделлю не виконується оптимізація параметрів (при навчанні моделі значення параметрів будуть самостійно налаштовуватися), в моделі відбувається автоматичне виконання набору непрямих стандартних інтелектуальних завдань, де результатом роботи кожного з блоків є число, яке використовується для порівняння та ранжування проектованих структур і прийняття рішення про відновлюваність системи чи внесення змін у структуру, яке здійснюється за допомогою аналітичного блоку.

Запропонована модель забезпечує швидке моделювання великої кількості стратегій розвитку подій та відрізняється від класичних самоорганізованою та самонавчаючою структурою, тобто, дозволяє більш ефективно уникати дестабілізуючих факторів, відновлювати та змінювати структуру ІС за необхідності.

Оскільки окремими заходами в існуючих системах загального користування неможливо досягти забезпечення функціональної стійкості та

інформаційної безпеки, бо це складне і комплексне завдання, то вирішується воно лише одночасно зі стратегічними та спеціальними питаннями розвитку архітектури, що дозволяє на всіх етапах життєдіяльності забезпечити функціональну стійкість та безпеку її найслабших частин. Тобто, основним викликом є необхідність розробки методології забезпечення функціональної стійкості інформаційної системи закладу вищої освіти через управління ризиками, безпекою та генерацію сценаріїв управління. Для цього пропонується використовувати програмно-визначену глобальну мережеву архітектуру SD-WAN, що змінює традиційні методики проектування, впровадження та управління корпоративними мережами і системами, мережами в центрах обробки даних та дозволяє суттєво підвищити функціональну стійкість ІС ЗВО, вирішуючи значну кількість проблем в ІС, зокрема, пов'язаних зі складністю мережевої інфраструктури, гнучкістю і масштабованістю, витратами на програмне забезпечення. Таким чином, розроблено концепцію побудови функціонально стійкої ІС ЗВО наукова новизна якої полягає в тому, що вона ґрунтується на управлінні процесом передачі даних на основі технології SD-WAN, криптостійкого шифрування з автентифікацією кінцевих точок та дозволяє підвищити продуктивність і безпечну інфраструктуру системи. Така концепція дозволяє підтримувати стандартну функціональність динамічного конфігурування мережевих пристроїв, забезпечити безпеку в системі, керувати трафіком, раціонально розподіляти навантаження в системі по різним каналам.

Основні причини впровадження SD-WAN в ІС ЗВО полягають в наступному: 1) залежність від застарілих мереж, переважно MPLS, які є дорогими і не здатними забезпечити пропускну здатність і швидкість передачі, необхідну для сучасних додатків, що вимагають великої пропускної здатності; 2) усунення проблем пов’язаних з якістю обслуговування в застарілих мережах зв'язку та потребами в більшій прозорості та контролі мережі; 3) необхідність централізованого управління або моніторингу; 4) подолання залежності від каналів і мереж, що надаються оператором, що уповільнюють або затримують розгортання мережі і обмежують вибір місця розташування; 5) усунення неефективної маршрутизації трафіку і потенційних точок збою через використання застарілих систем для переміщення трафіку з віддалених місць до центрального дата-центру; 6) подолання вразливостей і проблем пов’язаних з кібербезпекою та збільшенням попиту на хмарні додатки; 7) економічна доцільність; 8) збільшення мережевої продуктивності у порівнянні з традиційними глобальними мережами в контексті розмірів масштабованості, доступності послуг та функціональної стійкості; 9) забезпечення дотримання федеральних вимог щодо кібербезпеки, передбачених законом FISMA 201419 та його впровадженням у керівних принципах NIST щодо кібербезпеки, не тільки при первинному прийнятті, але і на постійній, безперервній основі; 10) можливість «повільного» переходу на нову мережеву технологію.

Реалізація SD-WAN на основі обладнання Aruba дозволяє створити та обслуговувати надійну мережу, яка відповідає сучасним вимогам і включає наступний набір елементів: Aruba Central; Aruba ClearPass; віртуальні шлюзи; головні шлюзи серії Aruba 7200; шлюзи BGW серії Aruba 7000, 7200 та 9000;

комутатори доступу 3810M, 2930M, 2930F та 5400R; точки доступу моделі AP-3xx (подвійні AP 802.11ac Wave 2 Wi-Fi 5) та моделі Aruba AP-5xx (подвійні AP 802.11ax Wi-Fi 6).

На практиці з використанням технології SD-WAN конфігурування мережі сильно спроститься керування ІС ЗВО, робота адміністраторів зменшиться в рази, при цьому характеристики ІС можна буде за необхідності корегувати в режимі реального часу і на високому рівні підтримувати функціональну стійкість ІС. Це дозволить ЗВО отримати контроль над всією ІС ЗВО, що значно спростить організаційні процеси та експлуатацію всієї системи.

Третій розділ присвячено розробці моделі єдиного інформаційного простору (ЄІП) ІС ЗВО та моделі управління ним.

Для функціонування ЗВО використовується велика кількість ІС, WEB-порталів та програмного забезпечення, які поділяються на внутрішні та зовнішні і в сукупності утворюють ЄІП ЗВО. Тому розробка та формування ЄІП ЗВО в комунікаційному процесі є важливим завданням, що дозволить всім учасникам працювати з даними на різних рівнях доступу до них, адміністраторам та технічному відділу спростить задачу щодо підтримки систем, передачі інформації між різними системами та видалення надлишкової дублюючої інформації, а для керівництва ЗВО надається можливість використання інформації в режимі реального часу для оптимізації процесів управління та змін, впровадження ефективних рішень, створення скоординованих процесів між внутрішніми інформаційними потоками і зовнішніми джерелами інформації.

Алгоритм створення ЄІП в основі, якого зовнішні та внутрішні ІС ЗВО (рис.1) має наступний вигляд:

Рис.1. Системи забезпечення закладу вищої освіти

1. Вибір та налаштування платформи для створення ЄІП.
2. Інтеграція зовнішніх та внутрішніх систем.
3. Розробка єдиного інтерфейсу, який дозволить користувачам зручно отримувати доступ до різних функціональних можливостей системи.
4. При створенні ЄІП важливо забезпечити безпеку даних та доступу до системи, що включає використання шифрування, автентифікації та авторизації, а також резервне копіювання даних.
5. Для можливостей доступу користувачів до однозначно визначеної інформації вся вхідна інформація визначається наборами ознак для кожного інформаційного елемента.

6. Визначаються, які дані та функціональні можливості мають бути доступними різним користувачам.

7. Для забезпечення доступу встановлюється одна або декілька точок доступу.

8. Для всіх точок входу встановлення однакових програмних сервісів.

9. Створення для кожного користувача віддаленого облікового запису з фіксацією всіх дій і використаних сервісів та можливостей доступу з багатьох точок доступу.

10. Проведення аналізу, збереження налаштувань і пропозиція вибору часто використовуваних користувачем сервісів.

11. Для користувача незалежно від місця розташування і точки доступу робота з конкретною ІС представлена у вигляді ЄІП.

Розглядаючи ЄІП як об'єднання всіх окремих ІС і просторів, отримаємо якісно новий простір, що адекватно відображає стан ЗВО в даний момент. При цьому обмін інформацією на основі ЄІП можна представити у вигляді трирівневої гетерогенної структури (рис.2), що складається з:

- рівня передачі інформації, що в основному використовується для завершення генерації та передачі даних у кожній ІС. Це основний рівень для реалізації доступу до передачі, контролю каналу та контролю даних, що забезпечує підтримку керування та переведення даних на інший рівень;
- рівня представлення інформації, що використовується для реалізації відображення між власним форматом кодування інформації та форматом загального опису інформації;
- рівня обміну інформацією, що використовується в основному для підтримки ЄІП, який одночасно використовують різні користувачі, різних структурних підрозділів для реалізації запитів, обробки та поширення інформації, прийняття рішень.

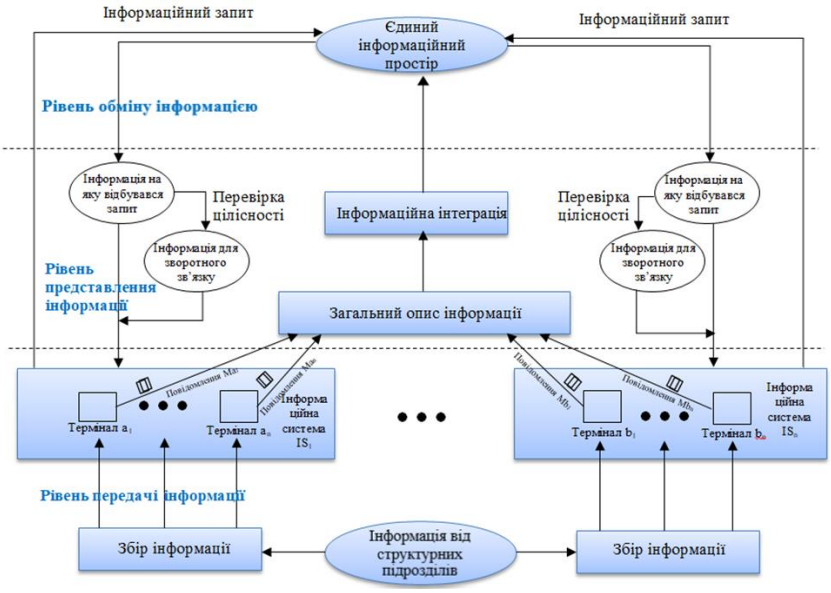

Рис.2. Схема обміну інформацією на основі єдиного інформаційного простору

Позначимо через $IS_1, IS_2 \ldots, IS_n$ – інформаційні простори ЗВО, $e_1, e_2, \ldots, e_m$ – набір елементів для кожного з $IS_1, \ldots, IS_n$, $t_1, t_2, \ldots, t_k$ – однозначний набір ознак для кожного з елементів, які отримані в процесі зчитування даних утилітою, $e_{b_1}, e_{b_2}, \ldots, e_{b_i}$.– вхідні елементи Кількість ознак є фіксованою для всіх $e_1, e_2, \ldots, e_m$, при чому, якщо ознака t_i $(i \leq k)$ відсутня, то $t_i = 0$.

Оскільки $e_1 \neq e_2 \neq$

$\cdots \neq e_m$, то інформаційний простір може бути представлений як система, що постійно оновлюється та поповнюється даними, шляхом дотримання умов:

- за допомогою утиліти відбувається зчитування властивостей елемента e_i $(i \leq m)$ у вигляді набору ознак. Якщо з якихось причин ознака не відома чи інформація про неї відсутня, то $t_i = 0$ $(i \leq k)$;

- однозначного розпізнавання кожного вхідного елемента шляхом порівняння наборів ознак. На основі вхідних даних формується простір IS, де кожний елемент не співпадає з іншим.

Інформаційний простір представляється у вигляді графа $IS =< E, T, Z, f >$, де E − множина елементів інформаційного простору; T − множина ознак елементів інформаційного простору; Z − множина типів зв'язків, яка знаходиться як об'єднання множини зв'язків між елементами інформаційного простору та множини зв'язків між ознаками елементів інформаційного простору; f − відображення, що задає конкретне відношення з Z на E.

ЄІП представляється у вигляді $UIS =< IS(E, T, Z, f), \tilde{Z}, \tilde{f} >$, де IS – множина інформаційних просторів; $\tilde{Z}$ − множина типів зв'язків, яка знаходиться також як об'єднання множини зв'язків між елементами різних інформаційних просторів та множини зв'язків між ознаками елементів різних інформаційних просторів; $\tilde{f}$ − відображення, що задає конкретне відношення з множини типів $\tilde{Z}$ між множиною інформаційних просторів IS.

Завдяки порівнянню підмножини ознак $T_{ij} = T_i \cap T_j$ з набором ознак e_{b_i} та e_j однозначно представляється кожен елемент IS в UIS та приймається рішення про додавання нових елементів до UIS.

Процес встановлення взаємозв'язків та розміщення всієї необхідної для ІС інформації в UIS відбувається шляхом надсилання первинної інформації інтегратору UIS через мережу зв'язку від користувача, який надсилає запит на розпізнавання e_{b_i} в UIS, до інтегратора UIS. Залежно від рівня доступу до інформації кожен користувач має доступ до певних частин загальнодоступної інформації та інформації, що використовується лише в певних структурних підрозділах. Інтеграційні елементи використовуються кожним користувачем для отримання інформації за цільовими напрямами в межах UIS.

Взаємодія в UIS відбувається як на глобальному, так і на локальному рівні, а інструменти інформаційної підтримки в поєднанні з трансформаторами застосовуються окремо на кожному рівні. Причому в процесі функціонування і розвитку UIS трансформації на різних рівнях можливі за допомогою адаптивних двонаправлених перетворювачів. Такий метод гарантує живучість UIS, оскільки відсутня інформація може бути відновлена з глобального рівня в разі виходу з ладу хоча б одного елемента, а в разі виходу з ладу елемента на глобальному рівні відновлення відбувається шляхом інтеграції функцій на локальному рівні.

Розроблено метод синхронного розпізнавання, який полягає в тому, що пошук елемента з IS здійснюється незалежно і одночасно у всіх IS. Суть даного методу полягає у наступних кроках (рис.3):

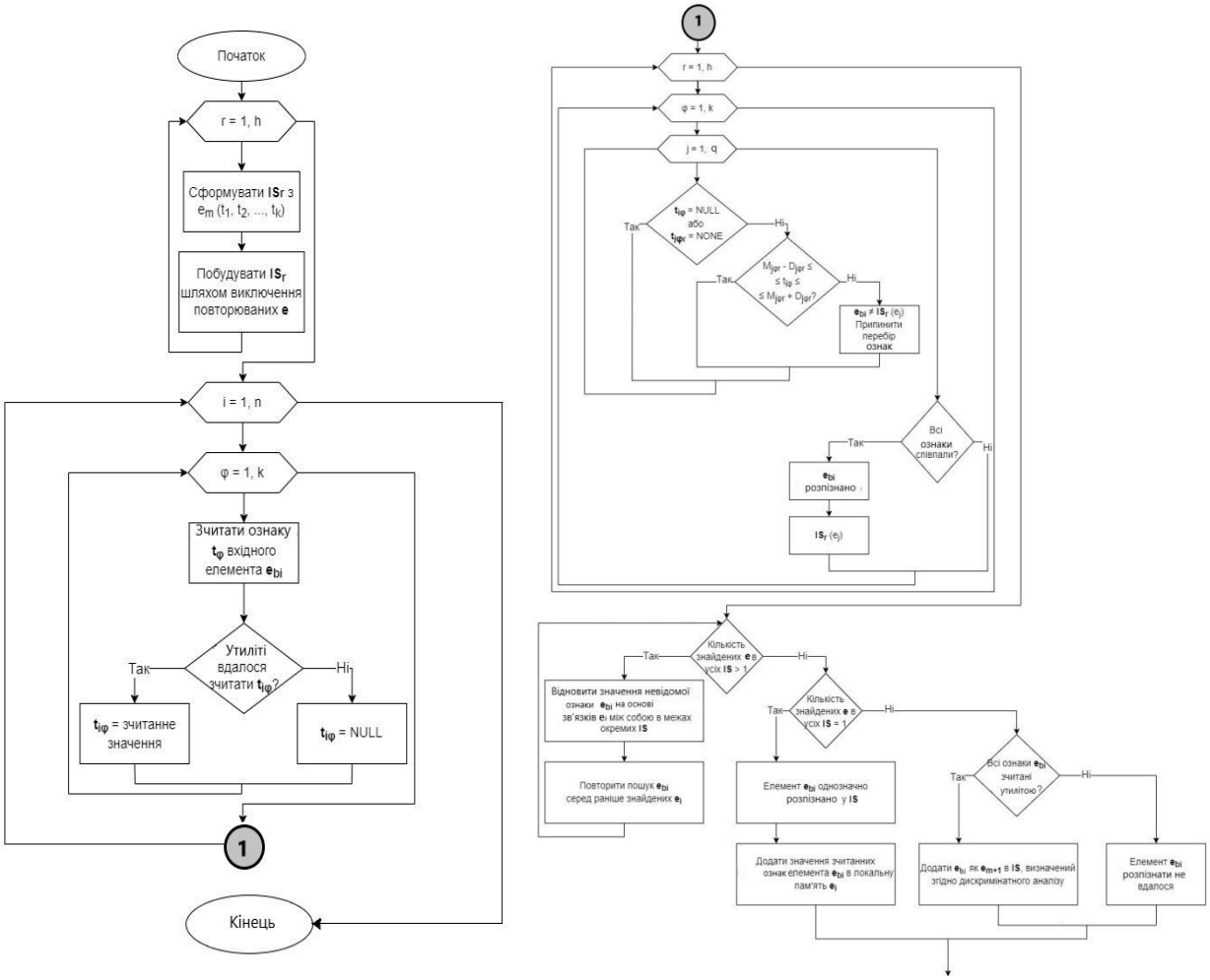

Рис.3. Схема методу синхронного розпізнавання вхідного елемента в інформаційних просторах

Крок 1. Потрібно сформувати незалежні IS, при цьому можуть виникати повторення елементів e_j в різних IS і навіть в одному й тому ж самому.

Крок 2. Необхідно виключити у кожному сформованому IS всі e_j, які повторюються, але в різних IS однакові e_j можуть залишитися.

Крок 3. Потрібно провести процес порівняння елементів у всіх IS з деяким e_{b_i}, що має набір ознак $t_1, t_2, \dots, t_k$. Вхідний елемент e_{b_i} однозначно розпізнається $e_{b_i} = IS_i(e_{b_j})$, якщо значення кожної ознаки вхідного елемента потрапляє в допустимий інтервал значень $M - D \leq t_k \leq M + D$ для відповідної ознаки деякого елемента IS, де M, D — математичне сподівання і дисперсія. При чому e_j мають локальну пам'ять для ознак елементів, що містяться в IS.

Крок 4. Відбувається процес виведення знайдених елементів IS, які відповідають умовам пошуку, із визначенням IS до якого він належить.

Крок 5. Проводиться повторне зчитування для встановлення відсутніх ознак e_{b_i}. Якщо утиліті вдалося зчитати ознаку, то вона вважається розпізнаною, якщо ж ні, то значення ознаки приймається за $NULL$ та ініціюється її пошук.

Крок 6. Проводиться пошук відсутніх ознак за допомогою взаємодії даного e_{b_i}з іншими e_j.

Крок 7. Проводиться процес додавання нового елементу IS. Тобто, у випадку коли розпізнавання не відбулося і в результаті e_{b_i} не співпав із жодним e_j у всіх наявних IS за відомими значеннями всіх його ознак, то даний елемент вважають новим і додають до IS в якості нового. Для цього застосовано багатовимірний дискримінантний аналіз для коректної класифікації з метою додавання нових елементів до IS. Для функції $f_{IS_r}^j = \delta_0^r + \delta_1^r t_{1r}^j + \cdots + \delta_k^r t_{kr}^j$, де $f_{IS_r}^j$ – значення функції для j-го елемента в IS_r; $t_{\varphi r}^j$ $(\varphi = 1, \dots, k)$ – ознаки відмінні від нуля для e_j в IS_r; δ_0^r – вільний коефіцієнт, який відповідає IS_r; δ_φ^r $(\varphi = 1, \dots, k)$ – коефіцієнти, що відповідають не нульовим ознакам для кожного IS, та порівнюється із статистичними характеристиками кожного інформаційного простору, тобто $M(f_{IS_r}) - D(f_{IS_r}) \le f_{IS_r}^j \le M(f_{IS_r}) + D(f_{IS_r})$. Такий підхід дозволяє однозначно визначити до якого саме інформаційного простору необхідно додати новий елемент e_{m+1}.

Розроблено модель ЄІП, наукова новизна якої полягає в тому, що вона ґрунтується на методі вибору якісного набору ознак елементів, які дозволяють розпізнавати довільні елементи з різних IS та містить наступні кроки:

Крок 1. Формуються незалежні один від одного IS.

Крок 2. Відбувається об'єднання всіх елементів e_j з усіх IS в UIS.

Крок 3. Проводиться виключення з UIS повторюваних елементів, тобто відбувається перебудова простору UIS_γ.

Крок 4. Проводиться порівняння e_{b_i} з кожним e_j з UIS_γ. Якщо значення кожної із ознак потрапляє в допустимий інтервал значень $M - D \le t_i \le M + D$ відповідної ознаки деякого елемента e_j, то він однозначно розпізнається.

Крок 5. Відбувається процес виведення відповідно до критеріїв інформаційних елементів.

Крок 6. Проводиться повторне зчитування утилітою для встановлення значень набору ознак e_{b_i}.

Крок 7. Проводиться додавання e_{b_i} до UIS_γ в якості нового елемента, у випадку якщо значення всіх його ознак є зчитаними і відомими.

Блок-схему розпізнавання e_{b_i} та формування ЄІП зображено на рис.4.

За допомогою теоретико-множинного формалізму відбувається пошук елемента інформаційного простору за його ознаками. Для цього множина всіх інформаційних просторів позначається S і складається з елементів e_i $(i = \overline{1,\ m})$, а множина всіх ознак позначається T і складається з ознак елементів $t_u(S)(u = \overline{1, n})$, де n – це кількість допустимих ознак. Якщо для e_i задано хоча б одне значення ознаки $t_{u_j} \in \{t_{u_{j1}}, \dots, t_{u_{jk}}\}$, то множина наборів значень $\{t_{u_{j1}}(e_i), \dots, t_{u_{jk}}(e_i)\}$ і така, що $\{t_{u_{j1}}(e_i), \dots, t_{u_{jk}}(e_i)\} \subset \{t_{u_{j1}}, \dots, t_{u_{jk}}\}$, якщо ж не задано, то $\{t_{u_{j1}}(e_i), \dots, t_{u_{jk}}(e_i)\}$, $t_u \ne \emptyset$. Сукупність всіх елементів представляє

собою модель ЄІП ЗВО, де довільний елемент можна однозначно визначити наступним чином:

$$FT(e_i) = \left\{ \begin{matrix} \left\{t_{u_{j1}}(e_i), \dots, t_{u_{jk}}(e_i)\right\} \subset T \\ \left\{t_{u_{j1}}(e_i), \dots, t_{u_{jn}}(e_i)\right\} \subset \left\{t_{u_{j1}}, \dots, t_{u_{jk}}\right\}, t_u(e_i) \neq \emptyset \end{matrix} \right\}.$$

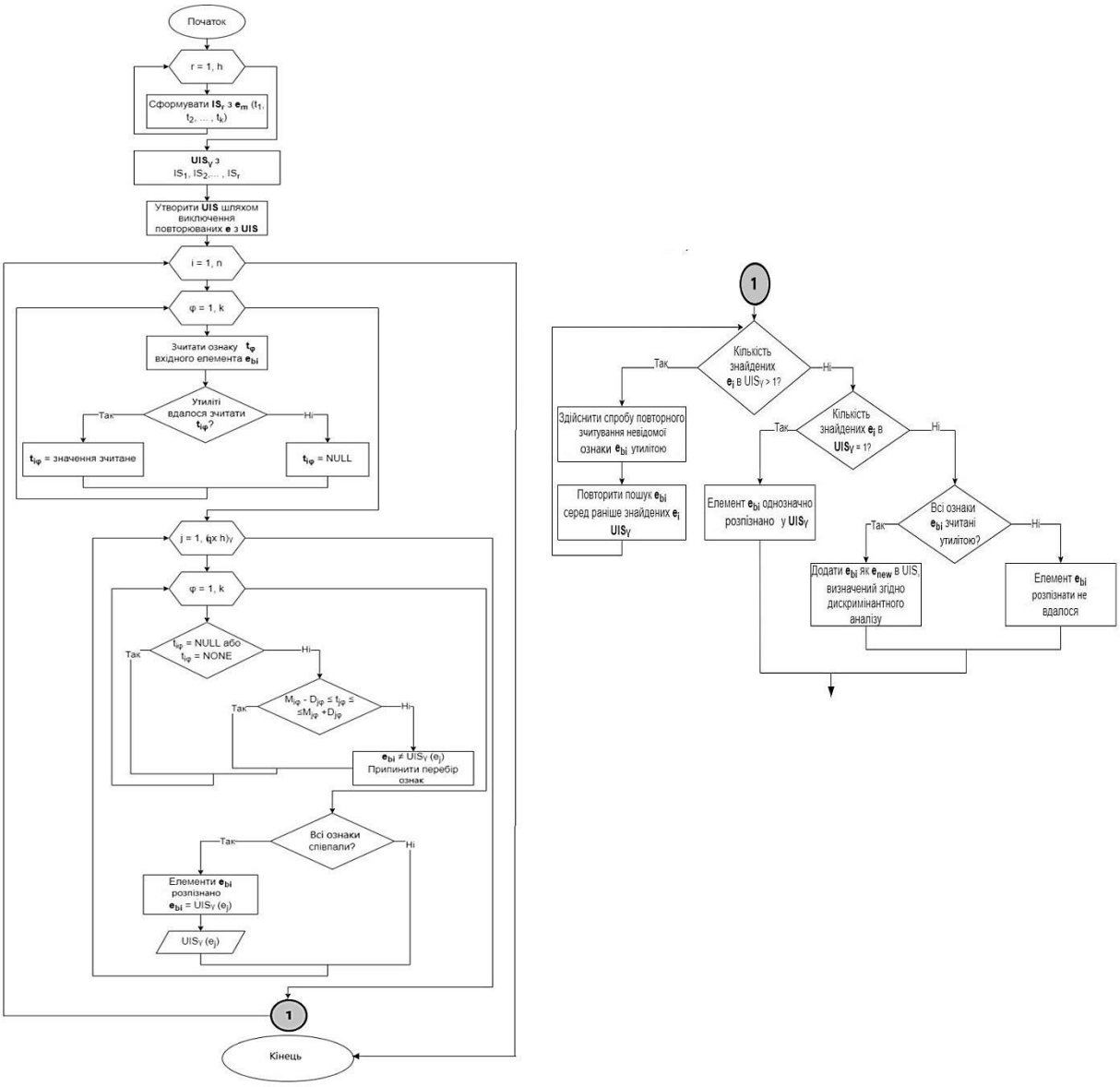

Рис.4. Схема розпізнавання вхідного елемента та формування єдиного інформаційного простору

З точки зору теорії інформації та динамічної точності, система керування повинна забезпечувати задану точність параметрів мережі ІС ЗВО при мінімальній кількості управляючої інформації. Процес управління функціонуванням мережі ІС ЗВО зводиться до передачі управляючої інформації протягом дискретного інтервалу управління. При цьому система управління має бути адаптивною до різного роду змін, пошкоджень та інваріантною до випадкових збурень. Тому, на основі теорії інформації удосконалено модель управління ЄІП, що дозволяє отримати мінімальний обсяг управляючої інформації:

$$\Delta E = \phi\left(\ln\frac{\sigma_1}{\sigma_1^*} + \ln\frac{\sigma_2}{\sigma_2^*} + \dots + \ln\frac{\sigma_k}{\sigma_k^*}\right) + \left(\ln\frac{\sigma_1(t)}{\sigma_1(t-1)} + \ln\frac{\sigma_2(t)}{\sigma_2(t-1)} + \dots + \ln\frac{\sigma_k(t)}{\sigma_k(t-1)}\right),$$

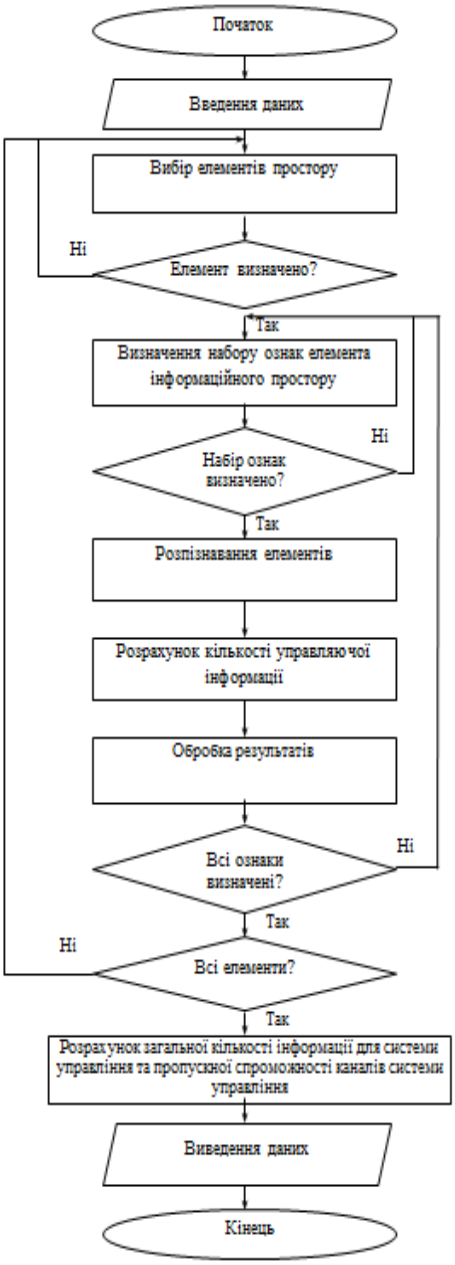

Рис.5. Основний блок реалізації удосконаленої моделі управління єдиним інформаційним простором

де $\sigma_j\,(j=\overline{1,k})$ – середні квадратичні відхилення характеристик мережі ІС ЗВО; $\sigma_j^*(j=\overline{1,k})$ – середні квадратичні допустимі похибки характеристик мережі ІС ЗВО; ϕ – коефіцієнт, що характеризує тип каналу зв'язку, який безпосередньо використовується. Мінімальний обсяг управляючої інформації необхідний для того, щоб характеристики мережі ІС ЗВО мали визначену точність.

Удосконалену модель управління ЄІП можна зобразити у вигляді алгоритму для розрахунку обсягу управляючої інформації:

І крок. Реалізація ініціалізації змінних, пошук елементів інформаційного простору, виклик процедури меню (рис.5).

ІІ крок. Забезпечення інтерактивної взаємодії користувача ІС ЗВО з інформацією в центрі обробки даних, шляхом обробки, відображення та внесення змін до інформації.

ІІІ крок. Розрахунок кількості управляючої інформації та кількості каналів зв’язку в системі управління.

IV крок. Відображення початкових та вихідних даних.

V крок. Виведення та збереження інформації про початкові та вихідні дані.

Модель управління ЄІП через забезпечення пропускної спроможності мережі ІС ЗВО ґрунтується на визначенні обсягу управляючої інформації до ввімкнення системи управління та після досягнення функціонування системи в режимі нормальної роботи з визначеною кількістю управляючої інформації. Нормальний режим роботи визначається середньоквадратичним відхиленням від допустимих значень характеристик мережі ІС, по яких здійснюється постійний моніторинг. Таким чином, від кількості управляючої інформації залежить характеристики каналів зв’язку та їх кількість.

Четвертий розділ присвячено розробці методики забезпечення функціональної стійкості ІС ЗВО.

Наразі користувачам необхідно мати безпечний доступ до програм в ІС ЗВО незалежно від місця їх розташування, тобто існує потреба в розширених послугах безпеки у всіх місцях. У зв’язку з цим виникає необхідність у

підвищенні безпеки як однієї із складових функціональної стійкості ІС, яка вирішується розробкою інформаційної технології забезпечення управління безпекою ІС ЗВО, що ґрунтується на повній вбудованій перевірці трафіку з функціями безпеки ІС, централізації управління мережею, автоматизації процесів конфігурації та управління та дозволяє забезпечити масштабованість мережі, досягати стабільної безпеки незалежно від місця розташування. Таким чином, управління процесом передачі даних в ІС ЗВО розроблено на основі технології SD-WAN, яка має повністю організоване з'єднання з Prisma Access і додатками SaaS, що забезпечує безпечний транспорт до програм і з них.

Prisma Access — це хмарний сервіс, який усуває проблеми визначення розміру брандмауерів і розподілу обчислювальних ресурсів, мінімізуючи прогалини в покритті та неузгодженості. Еластичність хмари зростає зі зміною попиту та структури трафіку. Цей хмарний сервіс використовує хмарну інфраструктуру безпеки для розгортання систем безпеки для віддалених мереж і мобільних користувачів. Для розробки локальних, віддалених та мобільних мереж доступу ЗВО на основі Prisma Access з високим рівнем безпеки оптимальним є виконання етапів зображених на рис.6:

-підбір інтерфейсів управління Prisma Access для користувачів. Для розгортання мережі ІС ЗВО використано інтерфейс з хмарним керуванням. Prisma Access може легко перемикатися між іншими програмами хабу, такими як Cloud Identity Engine, Enterprise DLP, IoT та має прямий доступ до Prisma Access Insights і журналів з Cortex Data Lake. Він містить попередньо визначені параметри та робочі процеси для: захисту доступу до Інтернету, запобігання загрозам, розповсюдження ідентифікатора користувача, групової синхронізації служб каталогів, налаштування IPSec;

- розгортання архітектури Prisma Access для користувачів, що складається з вузлів обробки даних безпеки, які є спеціалізованими віртуальними машинами, розташованими в глобально визначених місцях. Prisma Access автоматично надає IP-адреси, маршрутизацію, сертифікати та інформацію DNS, конфігурує вузли;

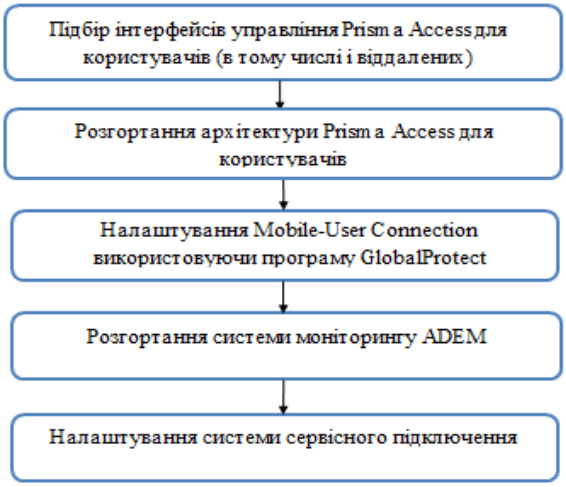

Рис.6. Етапи розробки мережі на основі Prisma Access

- налаштування Mobile-User Connection використовуючи програму GlobalProtect;

- розгортання системи моніторингу ADEM, що вимірює та повідомляє про проблеми з продуктивністю, які впливають на взаємодію з віддаленими користувачами, Wi-Fi, локальних мереж, а також внутрішніх і SaaS-додатків, до яких вони отримують доступ;

- налаштування системи сервісного підключення, яке з’єднується з центром обробки даних, активує відповідний вузол корпоративного доступу і

служить з’єднанням вузла обробки безпеки користувача, є маршрутизованим з'єднанням 3-го рівня і може підключатися до IPSec-сумісних брандмауерів, маршрутизаторів і кінцевих точок SD-WAN, але при цьому віддалені кінцеві точки IPSec повинні підтримувати найновіші алгоритми шифрування та автентифікації і використовувати надійні алгоритми для забезпечення безпечного транспортування.

Для повноцінного забезпечення функціональної стійкості ІС ЗВО розроблено методику забезпечення безпеки ІС ЗВО, наукова новизна якої полягає в тому, що вона базується на виявленні дестабілізуючих факторів та дозволяє забезпечити реконфігурації мережі ІС і безпечний доступ користувачам з будь-якого місця. Вона грунтується на теорії ігор і в ній визначено цільову функцію $\mathcal{Y}_{q_i} \to max$ вершин графа ієрархії ІС ЗВО, які продовжують функціонувати без збоїв, та функцію продовження функціонування ІС ЗВО в повному обсязі:

$$\mathcal{Y}^*_{q_i} = \sum_{f=1}^{N_f} \sum_{j=1}^{a_f} \sum_{i=1}^{N_{q_f}} \mathcal{N} \left| \mathcal{M}_{\text{ф}}(a_{fj}, q_{fi}) \right| \mathcal{Y}(a_{fj}) \mathcal{k},$$

де $\mathcal{Y}(a_{fj}) = \sum_i q_i \mathcal{Y}_{q_i}$ − загальне рішення оптимального сценарію під впливом дестабілізуючих факторів, що є сумою добутків вершин q_i пов’язаних з нештатною ситуацією для вирішення завдання a_{fj} та сценарію прийняття найкращого рішення для вирішення даного завдання $\mathcal{Y}_{q_i}$; $\mathcal{M}_{\text{ф}}(a_{fj}, q_{fi})$ — матриця функціонування вершин і задач графа ієрархії ІС ЗВО, $\mathcal{k} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } q_{fi} \text{ виконується на } q_i, \\ 0, \text{ в протилежному випадку.} \end{cases}$

Розроблена методика підвищення функціональної стійкості ІС ЗВО складається з наступних кроків:

1. Визначення вихідних даних.

2. Використання інфраструктури Prisma Access для обходу несправних з'єднань, зокрема, динамічної маршрутизації за допомогою BGP та інформації про нові підмережі IP-адрес на стороні підключення користувача інфраструктури Prisma Access для обходу несправних з'єднань, коли між клієнтською мережею та Prisma Access існує кілька маршрутів.

3. Перевірка чи виконано всі завдання a_{fj} пов’язаних функціонуванням ІС під впливом дестабілізуючих факторів. Якщо не всі a_{fj} виконано, то переходимо до наступного кроку методики.

4. Визначення періодів виконання алгоритмів $\mathcal{T}_c$, $\mathcal{T}_k$, часу виконання рішення завдання t_c, k — кількості разів виконання алгоритму $\mathcal{T}_k$ за період $\mathcal{T}_c$, використовуючи контролер ІС ЗВО для зчитування значень цих параметрів.

5. Для кожної функції f визначаються: $\mathcal{S}_0(a_{fj})$ − оптимальна стратегія за прийняття найкращого рішення для a_{fj}; $\delta(a_{fj})$ − ваговий коефіцієнт, який дозволяє контролеру визначити пріоритетність виконуваних функцій в системі; $Q_0(a_{fj}) = Q_0^*(a_{fj}) + \alpha \times Q_1^*(a_{fj})$ − обмеження при втраті продуктивності, тобто покладених функцій, та відбувається налаштування методів.

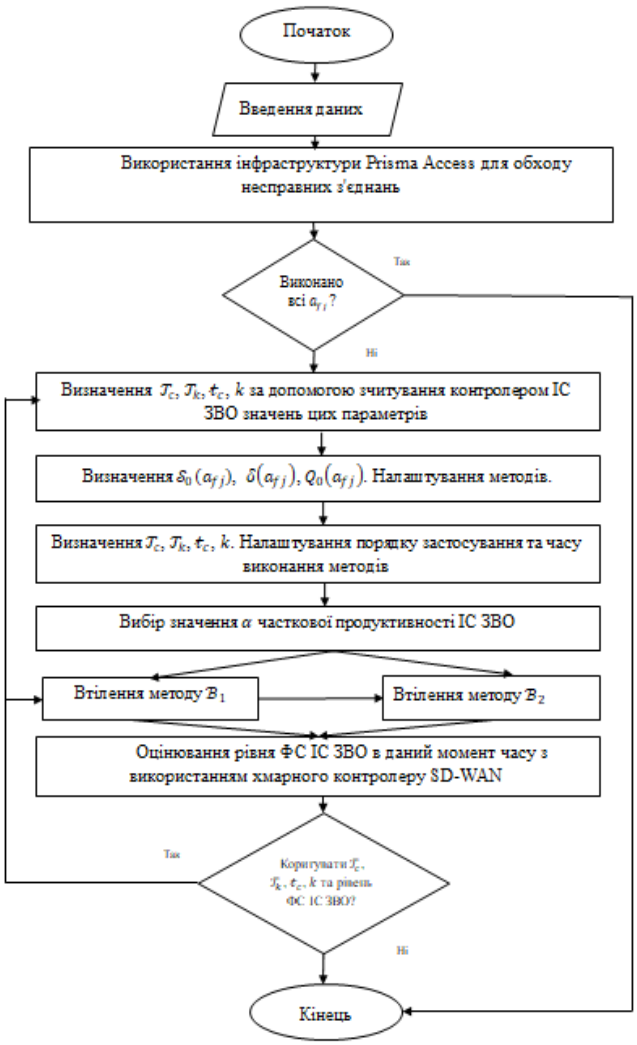

Рис.7. Блок-схема методики підвищення функціональної стійкості інформаційної системи закладу вищої освіти

6. Визначаються $\mathcal{T}_k$, t_c, k та $\mathcal{T}_c = t_c + k\mathcal{T}_k$. Відбувається налаштування порядку застосування та часу виконання методів.

7. Вибір значення коефіцієнта α часткової продуктивності ІС ЗВО.

8. Втілення методу $\mathcal{B}_1$ – функціональної реконфігурації вершини графа верхнього рівня ієрархії мережі ІС ЗВО.

9. Втілення методу $\mathcal{B}_2$ – функціональної реконфігурації ієрархічної мережі ІС ЗВО в режимі реального часу.

10.Оцінювання рівня функціональної стійкості ІС ЗВО в даний момент часу з використанням хмарного контролеру SD-WAN.

11.Визначення необхідності корекції $\mathcal{T}_c$, $\mathcal{T}_k$, t_c, k та оцінювання рівня функціональної стійкості ІС ЗВО.

Блок-схему послідовності кроків представлено на рис. 7

Оскільки для функціонування ІС ЗВО в різні періоди часу можуть виконуватися набори різних задач і функцій, які мають різні рівні продуктивності, але не зважаючи на все не можна нехтувати жодною із функцій, то в методі $\mathcal{B}_1$ покладено за основу першочергове виконання функціональної перебудови γ_1 і лише при умові неможливості забезпечення функціонування системи без втрати якості частини функцій перехід до функціональної перебудови γ_*.

До кроків виконання методу $\mathcal{B}_1$ належать:

1. Введення вхідних даних, що включає збір і обробку інформації про вершини та конфігурацію мережі ІС ЗВО, а саме:

- оновлення даних $\mathcal{D}(a_{fj}, \mathcal{K})$ та $\mathcal{D}_c(a_{fj}, \mathcal{K})$ кожним з вершин для завдань a_{fj};
- оновлення поточних даних контролером мережі ІС ЗВО про значення $\mathcal{T}_c$, t_c.

2. Визначення кількості завдань, що виконує вершина за формулою:

$$\mathcal{R} = \sum_{f=1}^{N_f} \sum_{j=1}^{a_f} \sum_{i=1}^{N_{q_f}} \mathcal{N} \, |\mathcal{M}_\phi(a_{fj}, q_{fi})| \mathcal{Y}(a_{fj}) \hbar.$$

для розрахунку складності прийняття рішень у виконанні завдань для забезпечення функціонування мережі ІС ЗВО та алгоритму подальших дій.

3. Визначення завдань, які виконує вершина в поточний момент часу.

У випадку якщо вершина не виконує завдань, то метод не застосовується до даної вершини.

4. Здійснення аналізу конфігурацій $\mathcal{M}_{\text{ф}}(a_{fj}, q_{fi})(t)$ в поточний момент часу та порівняння з попередньою $\mathcal{M}_{\text{ф}}(a_{fj}, q_{fi})(t-1)$. Аналіз і порівняння відбувається послідовно для кожного завдання заданої вершини ієрархії. Якщо $\mathcal{M}_{\text{ф}}(a_{fj}, q_{fi})(t)$ та $\mathcal{M}_{\text{ф}}(a_{fj}, q_{fi})(t-1)$ ідентичні, тобто не мають відмінностей, то запускається перевірка змін в стані системи.

5. Здійснення аналізу змін стану мережі системи. Якщо відбулися зміни у мережі ІС, тобто збільшення або зменшення загальної максимальної швидкості передачі інформації через конкретні вершини, то необхідно здійснити основну частину методу.

6. Застосування підходу повного перебору за один крок, який полягає у застосуванні кращої конфігурації для вершини верхнього рівня ієрархії і для цього потрібно здійснити перебудову в залежності від кожного із завдань. Тоді, вершина мережі виконує множину завдань для здійснення найкращої в сенсі продуктивності та живучості конфігурації, при цьому її вибір для кожного із завдань здійснюється з урахуванням максимальної швидкості в мережі та кількості ресурсів системи, необхідних для обчислення.

Підхід повного перебору за один крок відбувається наступним чином:

6.1. Здійснення перебору всіх можливих конфігурацій з нижчими вимогами до обчислювальних і канальних ресурсів. Якщо відсутнє спрощення конфігурації, то мережа вимушена припини виконання частини завдань.

6.2. Визначення часу t_{step} на виконання одного кроку підходу з перебором всіх варіантів конфігурації та визначення часу t_c виконання рішення завдання серверним алгоритмом за допомогою двовимірної упаковки з повним перебором всіх варіантів використовуючи формулу: $t_c^{compute} = t_{step}\mathcal{J}_{a_{fj}}\mathcal{K}_{a_{fj}} + t_{realization}$, де $t_{realization}$ – час на застосування поточної конфігурації в дію; $\mathcal{K}_{a_{fj}}$ – конфігурація для a_{fj}; $\mathcal{J}_{a_{fj}}$ – умова коректності конфігурації, яка забезпечує виконання принаймні однієї з функцій a_{fj}.

Час $t_c^{compute}$ для різних вершин в мережі може бути різним, але $t_c^{compute} \leq t_c$.

7. Обчислення $t_c^{compute}$ по формулі.

8. Визначення чи можлива функціональна перебудова γ_1, яка дозволить зберегти множину всіх виконуваних функцій в ІС, для мережі ІС ЗВО, заснована на $\mathcal{S}_0$ – максимально можливій оцінці якості виконання a_{fj} в конфігурації $\mathcal{K}_{a_{fj}}$, причому на цьому кроці виконання найбільш важливим є максимізувати сумарну величину цих оцінок:

$$\mathcal{S}_c(q_{fi}) = \sum_{f=1}^{N_f}\sum_{j=1}^{a_f}\left(\mathcal{S}_0\left(a_{fj}, \mathcal{K}_{a_{fj}}^0\right)\right)\mathcal{N}(\left|\mathcal{M}_{\text{ф}}(a_{fj}, q_{fi})\right|,$$

де $\mathcal{S}_0$ — не спадна функція найкращого з можливих значень оцінки якості виконання завдання a_{fj} з конфігурацією $\mathcal{K}_{a_{fj}}^0$, $\mathcal{K}_{a_{fj}}^0 = \overline{1, a_{fj}}$,

Всі конфігурації мають номер, що залежить від зростання максимально можливої оцінки якості виконання завдання $\mathcal{S}_0$ і на них накладені наступні умови: $\begin{cases} \mathcal{K}_{a_{fj}}^{n} \geq \mathcal{K}_{a_{fj}}^{n-1}, \\ \mathcal{S}_0\left(a_{fj}, \mathcal{K}_{a_{fj}}^{n}\right) \geq \mathcal{S}_0\left(a_{fj}, \mathcal{K}_{a_{fj}}^{n-1}\right), \end{cases}$ де $\mathcal{K}_{a_{fj}}^{n-1} = \overline{1, a_{fj}}$, $\mathcal{K}_{a_{fj}}^{n} = \overline{1, a_{fj}}$.

Крім того, в залежності від задачі ресурси мережі та обчислювальні ресурси можуть відрізнятися. Необхідною умовою виконання покладених функцій є їх виконання у повному обсязі завдання a_{fj} вершиною q_{fi}, тобто:

$$\begin{cases} R_i \geq \sum_{f=1}^{N_f} \sum_{j=1}^{a_f} \left(\mathcal{N}(|\mathcal{M}_{\phi}(a_{fj}, q_{fi})|\ )^2 \times \mathcal{D}\left(a_{fj}, t_{realization,q_{fi}}, 1\right), \\ u_i(q_{fi}) \geq \sum_{f=1}^{N_f} \sum_{j=1}^{a_f} \left(\mathcal{M}_{\phi}(|\mathcal{K}(a_{fj}, q_{fi})|\ )^2 \times \mathcal{D}\left(a_{fj}, t_{realization,q_{fi}}, 1\right) + \sum_{\mathcal{M}_{\phi}(a_{fj}, q_{fi}) = q_{fi}} \mathcal{D}_c\left(a_{fj}, t_{realization,q_{fi}}, 1\right) \end{cases}$$

Лише при виконанні необхідних умов можливе продовження методу.

На цьому кроці відбувається за один крок повний перебір варіантів конфігурацій і перевірка їх на можливість реалізації.

9. Визначення способу вибору конфігурації за рахунок порівняння розрахункових та вхідних даних. А саме, при виконанні $t_c^{compute} - t_{step} > t_c$ неможливий повний перебір всіх конфігурацій, а отже виконується генетичний метод, який забезпечує переривання перебору конфігурацій на довільному кроці і забезпечує результат не гірший від поточного.

10. Вирішення за час $t_{step}\mathcal{J}_{a_{fj}}\mathcal{K}_{a_{fj}}$ задачі $\mathcal{W}_{max}$ з максимізації сумарної користі обрання конфігурацій без перевищення максимально допустимої втрати функцій. Для цього використовується повний перебір всіх можливих варіантів конфігурацій і результатом рішення є вектор конфігурацій.

11. Встановлення початкового часу $t_{gm} = t$ для генетичного методу перебору конфігурацій $\vec{\mathcal{K}}$.

12. Встановлюємо необхідну кількість кроків r_{gm} для лічильника у виконанні генетичного методу, після якого цикл обнуляється.

13. Виконання одного кроку задачі $\mathcal{W}_{max}$ генетичним алгоритмом для знаходження вектора $\vec{\mathcal{K}}$ для якого мають місце нерівності з кроку 8.

14. Встановлюємо для лічильника значення $r_{gm} + 1$.

15.Здійснюємо перевірку обмеження: $\frac{(t_{gm}+1)(t-t_{gm})}{t_{gm}} > t_c$.

16. Виконуємо опис результатів пошуку з використанням генетичного алгоритму та нерівностей шляхом введення до матриці $\mathcal{O}(a_{fj}, q_{fi}, \theta)$ параметра θ, такого що: $\theta = 1$ для мережевих обмежень; $\theta = 2$ для ресурсних обмежень. При недостатності ресурсу набуває значення «1», при достатності «0».

17. Виконуємо обчислення браку ресурсів для вершин, які розміщені нижче у ієрархії:

$$\left[\begin{array}{l} \mathcal{D}\left(a_{fj}, \mathcal{K}_{a_{fj}}^{a_{fj}-1}, 1\right) = 1, \\ \mathcal{D}\left(a_{fj}, \mathcal{K}_{a_{fj}}^{a_{fj}-1}, 1\right) = 2. \end{array}\right.$$

18. Встановлюємо нульову конфігурацію за наявності браку ресурсів на кроці 17: $\mathcal{S}_0(\mathcal{K}_{a_{fj}}^{a_{fj}-1}) = 0$.

19. Визначаємо чи можлива функціональна перебудова γ_1 для мережі ІС ЗВО аналогічно до кроку 8.

20. Якщо функціональна перебудова γ_1 для мережі ІС ЗВО не можлива, то відбувається визначення можливості функціональної перебудови γ_2, яка не враховує, що можливе зменшення якості виконання визначених функцій під впливом такої перебудови. Для цього виконується розсилання конфігурації всім вершинам. Виконання реалізації γ_2 відбувається на кроках 21-31.

21. Встановлення початкових значень для алгоритму перебору функцій ІС.

22. Встановлення початкових значень для алгоритму перебору поточних a_{fj}.

23. Встановлення початкових значень для алгоритму перебору q_{fi} для поточного завдання і функції.

24. Встановлюємо для лічильника функцій системи збільшення на «1».

25. Встановлюємо для лічильника задач системи збільшення на одиницю.

26. Встановлюємо для лічильника рівня ієрархії зменшення на одиницю.

27. Здійснюється перевірка не можливості виконання функцій q_{fi}.

28. Вершині, яка не може здійснювати функції присвоюється нульова конфігурація, а значенню споживання обчислювальних ресурсів 0.

29. Визначається результуюча умова для алгоритму перебору функцій ІС.

30. Визначається результуюча умова для алгоритму перебору завдань.

31. Визначається результуюча умова для алгоритму перебору вершин ієрархії для поточного завдання і функції.

32. Блок застосування конфігурації — в блоці відбувається розсилка не оновлених даних по вершинах.

Блок-схема функціональної реконфігурації вершини графа верхнього рівня ієрархії мережі ІС ЗВО зображена на рис. 8.

Опишемо кроки розробленого методу $\mathcal{B}_2$ функціональної реконфігурації ієрархічної мережі ІС ЗВО в режимі реального часу.

1. Фіксуємо час початку t_θ.

2. Визначається вершина q_{fi} для реалізації конфігурації, шляхом перебору сусідніх вершин та деяких віддалених вершин одного функціонального рівня, які можуть виконувати однакові функції та між якими утворені зв'язки.

3. Вершини вибрані у кроці 2 здійснюють обмін матрицями функціонування $\mathcal{M}_{\text{ф}}(a_{fj}, q_{fi})$ та матрицями функціональних можливостей $\mathcal{M}_{\text{м}}(a_{fj}, q_{fi})$.

4. Визначається, з які з покладених на вершину q_{fi} функцій, вона здатна виконувати: $\mathcal{M}_{\text{ф}}(a_{fj}, q_{fi}) = \mathcal{M}_{\text{ф}}(a_{fj}, q_{fi}) \times \mathcal{M}_{\text{м}}(a_{fj}, q_{fi})$.

5. Визначається кількість завдань для вершини q_{fi}, які він здатен виконати за формулою: $\mathcal{R} = \sum_{f=1}^{N_f} \sum_{j=1}^{a_f} \sum_{i=1}^{N_{q_f}} \mathcal{N} \left|\mathcal{M}_{\text{ф}}(a_{fj}, q_{fi})\right| \mathcal{k}$.

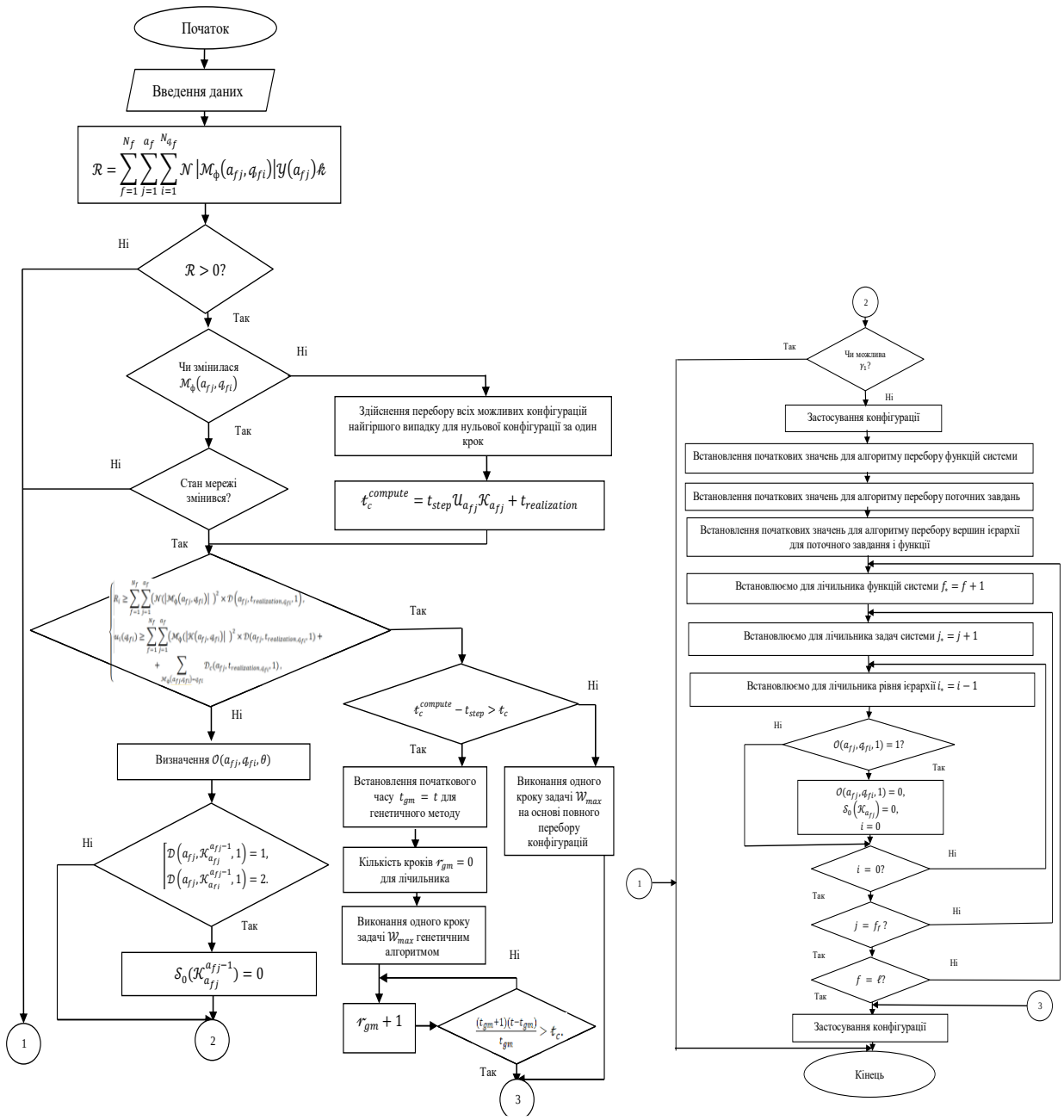

Рис.8. Блок-схема функціональної реконфігурації вершини графа верхнього рівня ієрархії мережі інформаційної системи закладу вищої освіти

6. При $\mathcal{R} > 0$ ініціюється пошук рішення для функціональної перебудови вершин і їх зв'язків. Якщо рішення знайдено, то результат пошуку впроваджується на кроках 7-9, в протилежному випадку очікуються результати обчислень з сусідньої вершини.

7. Визначається точка відліку для виконання генетичного методу до задачі $\mathcal{W}_{\max}$.

8. Рішення задачі $\mathcal{W}_{\max}$ доповнюються обмеженнями, які накладаються на вибір конфігурації та обсяг завдань для виконання. При цьому застосовується генетичний метод, оскільки дані обмеження вимагають збільшення обчислювальних ресурсів та часу на пошук рішення, а результат є не гіршим ніж початковий.

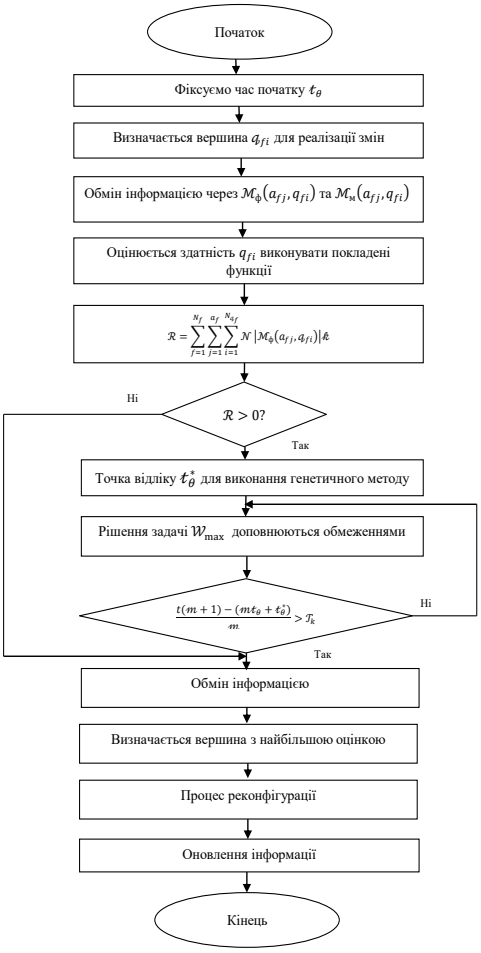

Рис.9. Блок-схема методики функціональної реконфігурації ієрархічної мережі інформаційної системи закладу вищої освіти в режимі реального часу

9. Перевірка максимально можливого часу на реалізацію рішення: $\frac{t(m+1)-(mt_\theta+t_\theta^*)}{m} > \mathcal{T}_k$.

10. Обмін результатів обчислень.

11. Визначається вершина, що отримала найбільшу додаткову оцінку. Якщо таких вершин не одна, то обирається вершина, що ініціювала реконфігурацію.

12. Відбувається процес реконфігурації.

13. Оновлення інформації у вершинах нульового рівня ієрархії по кожному із змінених завдань.

Блок-схему описаного методу зображено на рис.9.

П'ятий розділ присвячено методології побудови функціонально стійкої інформаційної системи закладу вищої освіти та оцінці її ефективності застосування.

Розроблена методологія побудови функціонально стійкої ІС ЗВО полягає в об'єднанні всіх організаційних структур, інформаційних ресурсів та зовнішніх інформаційних впливів для організації ІС на основі ЄІП ЗВО, систем, технологій та методів для забезпечення функціональної стійкості ІС ЗВО.

Після проведення процедури організації ІС на основі ЄІП ЗВО необхідно забезпечити функціональну стійкість цієї ІС. Таким чином процедура побудови функціонально стійкої інформаційної системи закладу вищої освіти буде розділена на дві паралельні процедури:

I. Процедура організації ІС на основі ЄІП ЗВО.

II. Процедура забезпечення функціональної стійкості ІС ЗВО.

І процедура. Для її реалізації використано наступні етапи:

Етап моделювання. Засобами формалізованого моделювання відбувається реалізація ІС, що ґрунтується на моделі ЄІП ЗВО.

Етап формування та підтримки. Складається з наступних кроків:

Крок 1. Об'єднання всіх ІС ЗВО та встановлення механізмів взаємодії між ними шляхом уніфікації наборів ознак елементів інформаційного простору для однозначного розпізнавання елементів інформаційного простору незалежно від їх виду, тобто незалежно від того чи це графічна, чи текстова інформація, чи програма чи база даних для кожного елемента визначається набір ознак, за яким його розпізнає ЄІП.

Крок 2. З метою забезпечення властивості живучості ЄІП елементи інформаційних просторів розміщуються в дворівневій системі зв’язків на локальному і на глобальному рівнях взаємодії, яка динамічно оновлюється і змінюється.

Крок 3. Визначення набору ознак кожного елемента інформаційних просторів та зв’язків між ознаками для однозначного розпізнавання будь-якого елемента шляхом формування єдиного сховища даних всіх наборів ознак.

Крок 4. Формування зв’язків між елементами ЄІП, тобто додавання відомостей про взаємозв’язки елементів у пам'ять єдиного сховища даних.

Крок 5. Моніторинг ЄІП шляхом використання методу реконструкції набору ознак елемента інформаційного простору для елементів, ознаки яких невідомі через відсутність доступу до елемента для їх зчитування.

Етап розпізнавання вхідних елементів. Складається з наступних кроків:

Крок 1. Зчитування утилітою набору значень для встановлення ознак вхідного елемента для уніфікованого представлення в ЄІП.

Крок 2. Розпізнавання елемента шляхом використання методу синхронного розпізнавання, тобто одночасного пошуку та порівняння у всіх інформаційних просторах набору значень, що відповідає вхідному елементу.

Крок 3. Аналіз результатів розпізнавання: якщо в результаті пошуку знайдено аналогічний набір значень ознак в ЄІП, то вхідний елемент вважається розпізнаним і таким, що вже доданий у єдине сховище даних ЄІП; якщо ідентичного набору значень ознак не знайдено в ЄІП, то вхідний елемент вважається новим.

Крок 4. Оновлення ЄІП шляхом додавання нового елемента до єдиного сховища даних ЄІП та встановлення взаємозв’язків з іншими елементами ЄІП.

Процедура організації ІС на основі ЄІП ЗВО безпосередньо залежить від потоку інформації, як всередині інформаційного простору, так і ззовні. Це пов’язано з тим, що ефективність функціонування ІС в умовах невизначеності залежить від оперативності та якості отриманої інформації. Тому інформаційні ресурси мають фундаментальне значення для організації ІС ЗВО і для її подальшого розвитку.

ІС ЗВО, організована на основі ЄІП, створює середовище для оперативного користування достовірною інформацією незалежно від місця розташування користувача та без часових обмежень, а сама інформація має фундаментальне значення для функціонування і підтримки ІС ЗВО.

ІІ Процедура

Етап аналізу та використання функцій безпеки. Відбувається визначення вхідних даних і виявлення вершин графа ієрархії мережі ІС ЗВО, які не здатні функціонувати в повній мірі під впливом дестабілізуючих факторів. Для усунення проблем використовується інфраструктура Prisma Access для обходу несправних з'єднань в мережі ІС ЗВО. Якщо проблему усунено і всі завдання покладені на мережу ІС ЗВО виконано, то на цьому процедура забезпечення функціональної стійкості закінчується. У протилежному випадку необхідно перейти до наступного етапу.

Етап визначення характеристик. Складається з наступних кроків:

Крок 1. За допомогою зчитування контролером ІС ЗВО визначаються значення для періодів виконання алгоритмів $\mathcal{T}_{\text{c}}$, $\mathcal{T}_{\text{k}}$, час виконання t_{c} та кратність виконання k для виконання умови $\mathcal{T}_{\text{c}} = t_c + k\mathcal{T}_k$.

Крок 2. Для кожної функції f визначаються $\mathcal{S}_0(a_{fj})$ − сценарій прийняття найкращого рішення, $\delta(a_{fj})$ − ваговий коефіцієнт, який дозволяє контролеру визначити пріоритетність виконуваних функцій в системі, $Q_0(a_{fj})$ − обмеження при частковій втраті продуктивності. Для цільової функції вершини верхнього рівня ієрархії мережі ІС ЗВО має місце:

$$\mathcal{F}(a_{fj}) = \sum a_{fj}\left(\left(\mathcal{S}_0(a_{fj}) - \mathcal{S}_m(a_{fj})\right) \times \delta(a_{fj}) + Q_0(a_{fj})\right) \to min.$$

Відбувається налаштування методів $\mathcal{B}_1$ − функціональної реконфігурації вершини графа верхнього рівня ієрархії мережі ІС ЗВО та $\mathcal{B}_2$ − функціональної реконфігурації ієрархічної мережі ІС ЗВО в режимі реального часу.

Крок 3. Визначаються $\mathcal{T}_{\text{c}}$, $\mathcal{T}_k$, t_c, k в поточний момент часу для налаштування порядку застосування та часу виконання методів.

Крок 4. Вибір значення α часткової продуктивності ІС ЗВО.

<u>Етап реалізації методів.</u> Для усунення несправності в системі на етапі реалізації можливі три варіанти розвитку подій:

Варіант 1. Застосування методу функціональної реконфігурації вершини графа верхнього рівня ієрархії мережі ІС ЗВО.

Варіант 2. Застосування методу функціональної реконфігурації ієрархічної мережі ІС ЗВО в режимі реального часу.

Варіант 3. Паралельне застосування обох методів функціональної реконфігурації мережі ІС ЗВО.

Після розгортання подій за одним із сценаріїв проводиться оцінювання рівня функціональної стійкості ІС ЗВО в даний момент часу з використанням хмарного контролеру SD-WAN.

Якщо оцінивши рівень функціональної стійкості інформаційної системи за допомогою хмарного контролеру SD-WAN визначили, що відмовостійкість мережі інформаційної системи закладу вищої освіти забезпечена, то процедуру завершено. У протилежному випадку відбувається повернення на етап визначення характеристик для корегування значень $\mathcal{T}_c, \mathcal{T}_k, t_c, k$ та α.

Отже, за рахунок виконання двох основних процедур, забезпечується функціональна стійкість всієї ІС ЗВО.

Розроблену методологію побудови функціонально стійкої ІС ЗВО можна представити у спосіб наведений на рис. 10.

Відповідно до загальноприйнятого визначення інформаційної системи, ефективність її функціонування характеризує ступінь досягнення цією системою поставлених цілей і оцінюється за допомогою певних критеріїв.

Для обґрунтування можливості застосування ІС ЗВО необхідно вирішити двокритеріальне завдання, яке в формальному вигляді полягає у виконанні нерівностей $\mathcal{K}_{\text{фс}}(\mathcal{X}^*) > \mathcal{K}_{\text{фс зад}}$ та $\text{C}(\mathcal{X}^*) \to \min\limits_{\mathcal{X}\in\pi} \text{C}(\mathcal{X})$, де $\vec{\mathcal{X}} = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ — вектор параметрів, які визначаються умовами експлуатації та функціональними можливостями ІС ЗВО; $\overrightarrow{\mathcal{X}^*}$ — вектор значень

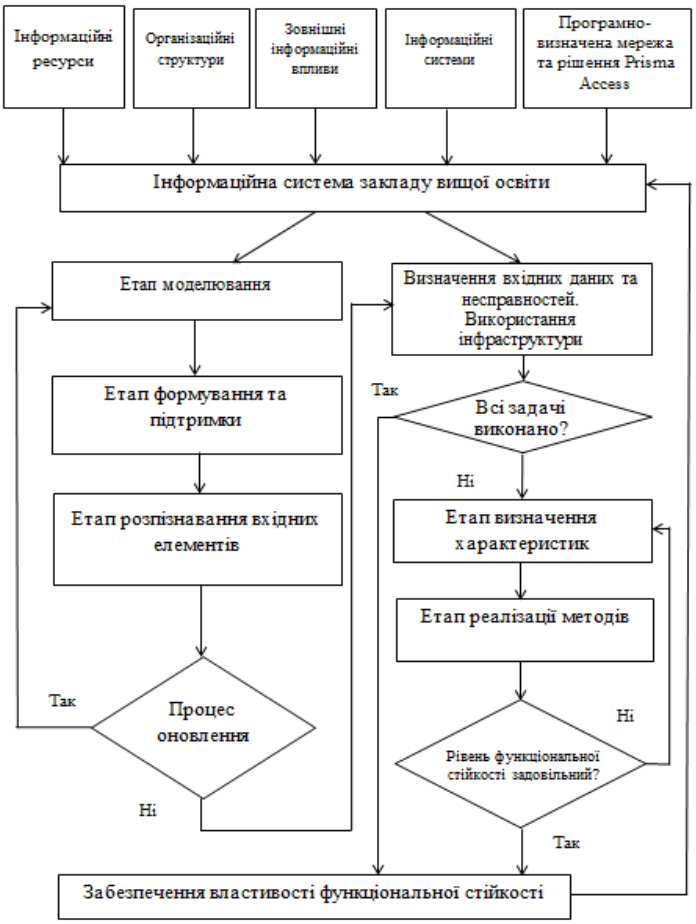

Рис.10. Методологія побудови функціонально стійкої інформаційної системи закладу вищої освіти

параметрів при рішенні задачі вибору ІС ЗВО, π — множина варіантів вибору обладнання та програмного забезпечення на побудову ІС ЗВО.

Щоб визначити обґрунтованість впровадження ІС ЗВО використано в якості показника ефективності ІС коефіцієнт функціональної стійкості $\mathcal{K}_{\text{фс}}$, а в якості показника економічної ефективності відносне зниження рівня витрат на його впровадження $\varepsilon = \frac{C^*_{\text{вт}} - C_{\text{вт}}}{C^*_{\text{вт}}}$, де $\varepsilon \in [0,1)$, $C_{\text{вт}}$ – витрати на впровадження ІС ЗВО з існуючими серверами та обладнанням в ЗВО, $C^*_{\text{вт}}$ – витрати на впровадження ІС ЗВО з оновленими серверами та обладнанням.

Значення коефіцієнта функціональної стійкості $\mathcal{K}_{\text{фс}} = \alpha_1 \mathcal{K}_{\text{у}} + \alpha_2 \mathcal{K}_{\text{п}} + \alpha_3 \mathcal{K}_{\text{з}}$, де $\mathcal{K}_{\text{у}}$ – коефіцієнт покращення управління ІС ЗВО; $\mathcal{K}_{\text{п}}$ – коефіцієнт покращення продуктивності ІС ЗВО; $\mathcal{K}_{\text{з}}$ – коефіцієнт покращення захисту інформації в ІС ЗВО; $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$, $\alpha_i \in [0,1], i = \{1,2,3\}$; та показника економічної ефективності ε для існуючого обладнання наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

ІС ЗВО на основі:	$\mathcal{K}_{\text{у}}$	$\mathcal{K}_{\text{п}}$	$\mathcal{K}_{\text{з}}$	$C_{\text{вт}}$	$C^*_{\text{вт}}$	$\mathcal{K}_{\text{фс}}$	ε
Існуючого обладнання	0,51	0,67	0,62	1278 тис. у.о.	1278 тис. у.о	0,634	0
Оновленого обладнання вартість, якого не перевищує 1 млн.у.о.	0,69	0,8	0,77	1278 тис. у.о	1528 тис. у.о	0,78	0,16
Оновленого обладнання вартість, якого не перевищує 4 млн.у.о.	0,81	0,98	0,96	1278 тис. у.о	2278 тис. у.о	0,96	0,44

Доцільність використання ІС ЗВО та вибору варіанту витрат на обладнання для ІС ЗВО із врахуванням оптимальних значень показника економічної ефективності ε та коефіцієнта функціональної стійкості $\mathcal{K}_{\text{фс}}$ при $\mathcal{K}_{\text{фс зад}} = 0{,}9$ в двокритеріальній задачі полягає в наступному:

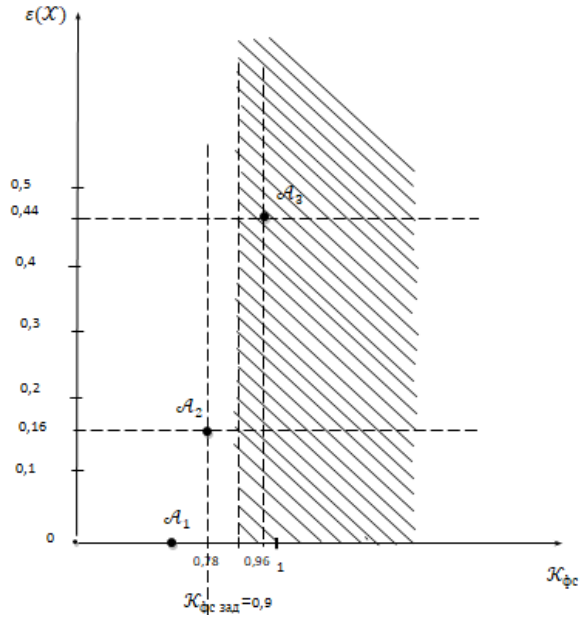

Рис.11. Область допустимих значень показників ефективності ІС ЗВО

$$\begin{cases} \mathcal{K}_{фс}(\mathcal{X}^*) > \mathcal{K}_{фс\ зад}, \\ \varepsilon(\mathcal{X}^*) = \max\limits_{\mathcal{X}\in\pi} \varepsilon(\mathcal{X}). \end{cases}$$

Для зображення рішення задачі обґрунтування доцільності використання ІС ЗВО використано поняття області допустимих значень. Як видно з рис.11 лише одна точка $\mathcal{A}_3$ міститься в області допустимих значень показників ефективності ІС ЗВО, тобто має не нижче заданого початкового рівня 0,9 коефіцієнт функціональної стійкості, при цьому рівень витрат найвищий і показник економічної ефективності ε становить 0,44. Можна зробити висновок, що випадок $\mathcal{A}_3$ є найкращим з погляду забезпечення продуктивності, безпеки та управління, оскільки повністю задовольняє вимоги коефіцієнта функціональної стійкості.

Аналіз варіантів побудови ІС ЗВО показав, що системи в які закладаються достатні кошти на модернізацію обладнання і впровадження програмно-визначених глобальних мереж забезпечують суттєво вищий коефіцієнт функціональної стійкості, який може досягати 0,96. Тому застосування функціонально стійкої ІС ЗВО є доцільним з точки зору забезпечення необхідного рівня коефіцієнта функціональної стійкості і економічно обґрунтованим для використання системи на найближчі роки, оскільки не потрібно передбачати зайві витрати на оновлення і ремонт обладнання.

На основі проведеного аналізу і випробування ІС ЗВО з використанням традиційної мережі та програмно-визначеної глобальної мережі встановлено, що SD-WAN як рішення дозволяє перерозподілити навантаження мережі, підвищивши її пропускну здатність на 20% при цьому скорочуються витрати, оскільки технологія підвищує продуктивність без інвестицій у розширення смуги пропуску мережі, і відбувається швидке впровадження технології у порівнянні з будуванням мережі MPLS, а саме, на 70% скорочує час введення в експлуатацію програмно-визначеної глобальної мережі в порівнянні з традиційними. А інтелектуальні алгоритми SD-WAN дають можливість автоматизувати значну частку операцій.

Використання отриманих наукових результатів, а саме методики забезпечення безпеки ІС ЗВО, удосконалення мережі ІС ЗВО за рахунок технології Prisma Access, моделі ЄІП ЗВО та методології побудови ІС ЗВО дозволяє підвищити показник функціональної стійкості ІС ЗВО за рахунок продуктивності, високого рівня безпеки і управління на 12% у порівнянні з відомими методами.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі виконаних досліджень розвинуто відомі теоретичні, практичні положення і започатковано нові засади інформаційних технологій, завдяки чому розв'язана науково-практична проблема, що полягає в розробці інформаційної технології забезпечення функціональної стійкості інформаційної системи закладу вищої освіти.

Розроблена інформаційна технологія забезпечення функціональної стійкості інформаційної системи має наукове значення, а її методика забезпечення функціональної стійкості інформаційної системи — важливе практичне значення.

Об'єктивно існує протиріччя між принциповою можливістю побудови високоефективної функціонально стійкої інформаційної системи закладу вищої освіти на основі використання передових досягнень в області інформаційних технологій і недостатньою ефективністю існуючих інформаційних систем закладів вищої освіти, які не забезпечують заданий рівень функціональної стійкості. Оскільки, забезпечення надійності та функціональної стійкості мережі при побудові інформаційної системи є складною науково-технічною проблемою через складність оцінки функціональної стійкості інформаційної системи, що випускається різними виробниками, використання різними розробниками різних методів оцінки роботи системи, здійснення різного характеру впливу на мережу інформаційної системи, необхідність забезпечення високого рівня безпеки і мобільності користувачів без зменшення показників якості функціонування системи. Тому тематика дисертаційної роботи направлена на вирішення даного протиріччя, тобто, розробку науково-практичного апарату управління продуктивністю, конфігурацією та безпекою з метою ефективного використання сучасних інформаційних та апаратних ресурсів інформаційної системи закладу вищої освіти для забезпечення її функціональної стійкості.

Основні наукові і практичні результати дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. В роботі проведено дослідження функціональної стійкості існуючих інформаційних систем. На основі проведеного аналізу можна зробити висновок про необхідність пошуку альтернативних варіантів рішень забезпечення необхідного рівня функціональної стійкості для побудови високоефективної функціонально стійкої інформаційної системи закладу вищої освіти, що ґрунтуються на використанні передових досягнень в області інформаційних технологій, у зв'язку з недостатньою ефективністю існуючих інформаційних систем закладів вищої освіти, які не забезпечують заданий рівень функціональної стійкості.

2. Проведено аналіз та визначено стратегії щодо реалізації принципів побудови функціональної стійкості інформаційної системи на основі методології функціональної стійкості та сучасних інформаційних технологій.

3. Проведено аналіз забезпечення ефективного управління

інформаційною системою шляхом розвитку мережевої архітектури інформаційної системи.

4. На основі аналізу існуючих методів розпізнавання елементів інформаційного простору та їх ознак встановлено протиріччя та необхідність реалізації способів уніфікації інформаційних ресурсів всього закладу вищої освіти, що надходять з різних організаційних структур до єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти.

5. Проаналізовано дослідження питання формування єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти і виявлено необхідність побудови розробки єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти, що ґрунтується на виборі якісного набору ознак елементів та різних інформаційних систем і дозволяє сформувати функціонально стійку інфраструктуру інформаційної системи закладу вищої освіти.

6. Розроблено концепцію побудови інформаційної системи, яка забезпечує заданий рівень функціональної стійкості, необхідний для стабільного функціонування інформаційної системи у разі структурної або функціональної деградації, гарантуючи своєчасну реакцію системи на дестабілізуючі фактори. Наукова новизна концепції полягає в тому, що вона ґрунтується на ґрунтується на управлінні процесом передачі даних на основі технології SD-WAN з криптостійким шифруванням, автентифікацією кінцевих точок та дозволяє підвищити продуктивність системи.

7. Розроблено модель інформаційної системи закладу вищої освіти на основі програмно-визначеної глобальної мережі, що дозволяє отримати повний контроль над всією інформаційною системою закладу вищої освіти, підвищити рівень продуктивності, зменшити експлуатаційні витрати, оптимізувати роботу систем, мережі та працівників, при цьому характеристики інформаційної системи можна буде за необхідності коригувати в режимі реального часу і на високому рівні підтримувати її функціональну стійкість. Наукова новизна полягає в тому, що модель інформаційної системи закладу вищої освіти ґрунтується на відновленні показників продуктивності якості обслуговування та забезпечує уніфікований набір функцій і функціональних можливостей для доступу до інформаційної системи незалежно від місця знаходження користувачів.

8. Розроблено алгоритм формування єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти як об’єднання всіх інформаційних ресурсів, організаційних структур і засобів взаємодії та передачі даних, що дозволяє встановити механізми взаємодії елементів інформаційних просторів в єдиному інформаційному просторі.

9. Розроблено метод розпізнавання і оновлення елементів інформаційного простору, що ґрунтується на теоретико-множиному формалізмі та аналізі набору ознак кожного з елементів інформаційного простору і дозволяє з високою точністю розпізнавати дані в єдиному інформаційному просторі.

10. Розроблено модель єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти, наукова новизна якої полягає в тому, що вона ґрунтується на методі

вибору якісного набору ознак елементів, які дозволяють розпізнавати довільні елементи з різних інформаційних систем.

Запропонована модель єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти вирішує протиріччя у реалізації способів уніфікації інформаційних ресурсів всього закладу вищої освіти, що надходять з різних організаційних структур до єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти.

11. Удосконалено модель управління інформаційною системою, яка відрізняється від існуючих тим, що ґрунтується на теорії інформації та дозволяє визначити мінімальний обсяг управляючої інформації при якій параметри мережі матимуть задану точність та забезпечувати необхідну пропускну здатність інформаційної системи.

12. Проведено аналіз вимог до функціонально стійких інформаційних систем щодо необхідності впровадження програмно-визначених глобальних мереж, які дозволяють забезпечити заданий рівень функціональної стійкості, надаючи гнучкість та керованість мережевим сервісам.

13. Удосконалено мережу інформаційної системи закладу вищої освіти, яка відрізняється від існуючих тим, що вона ґрунтується на централізації управління мережею, автоматизації процесів конфігурації та управління та дозволяє забезпечити масштабованість мережі, досягати стабільної безпеки незалежно від місця розташування.

14. Розроблено методику забезпечення безпеки інформаційної системи закладу вищої освіти, наукова новизна якої полягає в тому, що вона базується на виявленні дестабілізуючих факторів та дозволяє забезпечити реконфігурації мережі інформаційної системи і безпечний доступ користувачам з будь-якого місця, а також захищати цифрові активи закладу вищої освіти.

Дана методика забезпечення безпеки інформаційної системи закладу вищої освіти дозволяє підвищити функціональну стійкість інформаційної системи закладу вищої освіти, тим самим забезпечивши відмовостійкість інформаційної системи закладу вищої освіти в умовах кібератак та дестабілізуючих факторів, що впливають на продуктивність її функціонування.

15. Розроблено методологію побудови інформаційної системи закладу вищої освіти, наукова новизна якої полягає в об’єднанні всіх організаційних структур, інформаційних ресурсів та зовнішніх інформаційних впливів для організації інформаційної системи на основі захищеного єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти, систем, технологій, методів та дозволяє забезпечити функціональну стійкість інформаційної системи закладу вищої освіти.

Методологія процедури організації інформаційної системи на основі єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти ґрунтується на моделі єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти, методах розпізнавання елементів інформаційної системи, реконструкції ознак елементів інформаційної системи та синхронного розпізнавання елементів, алгоритмах взаємозв’язків між елементами та їх наборами значень ознак дозволяє підвищити ефективність функціонування інформаційної системи закладу вищої освіти та прийняття управлінських рішень.

16. Обґрунтовано доцільність використання розробленої інформаційної системи закладу вищої освіти з погляду забезпечення високого рівня продуктивності, безпеки та управління, який повністю задовольняє вимоги коефіцієнта функціональної стійкості і може досягати значення 0,96.

17. Проведено оцінку економічного ефекту від впровадження функціонально стійкої інформаційної системи закладу вищої освіти та встановлено, що її використання сприяє скороченню часу на виконання трудомістких робіт та може знизити витрати на організацію ефективної взаємодії між усіма підрозділами закладу вищої освіти.

Використання функціонально стійкої інформаційної системи закладу вищої освіти, що ґрунтується на методиці забезпечення безпеки інформаційної системи закладу вищої освіти, удосконалення мережі інформаційної системи закладу вищої освіти за рахунок технології Prisma Access, моделі єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти та удосконаленій моделі управління інформаційною системою дозволяє підвищити показник функціональної стійкості інформаційної системи закладу вищої освіти на 12% у порівнянні з відомими методами за рахунок підвищення продуктивності, управління і високого рівня безпеки.

Достовірність основних результатів дисертаційних досліджень обґрунтована позитивними висновками про перевірку отриманих наукових результатів при практичному їх використанні у Інституті програмних систем Національної академії наук України при модернізації інформаційної системи Інституту програмних систем, у ТОВ «РЕНТСОФТ» при побудові проекту з впровадження перспективних інформаційних систем, в Навчально-методичному центрі кадрової політики Міністерства оборони України під час виконання науково-дослідної роботи «Обгрунтування шляхів впровадження у воєнній сфері, сферах оборони і військового будівництва України досвіду провідних держав-членів НАТО щодо формування законодавчих основ проходження військової служби» шифр «Підґрунтя» застосована модель управління інформаційною системою на основі об’єднання інформаційних просторів в єдиний інформаційний простір та методика забезпечення функціональної стійкості інформаційної системи засобами програмно-визначеної глобальної мережі, в Інституті телекомунікацій і глобального простору Національної академії наук України при виконанні науково-дослідних робіт, в ТОВ «Хуавей-Україна» при виконанні науково-дослідної роботи з проектування та побудови інформаційних систем на основі програмно-визначених глобальних мереж, в Державному університеті телекомунікацій при курсовому проектуванні та викладанні навчальних дисциплін: «Інформаційна безпека комп'ютерних систем», «Дослідження і проектування інтелектуальних систем». Отримані теоретичні і практичні результати підтверджені випробуванням інформаційної системи.

Розроблений науково-методичний апарат доцільно використовувати в закладах вищої освіти та науково-дослідних інститутах для експлуатації функціонально стійкої інформаційної системи закладу вищої освіти та підвищення ефективності організації процесів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Zamrii I., Sobchuk V., Sobchuk A., Laptiev S., Laptieva T. Periodic solutions of nonlinear differential equation of models information network. *Sciences of Europe*. 2021. Vol. 1. No 67. Pp. 31 – 35.
2. Замрій І.В., Собчук В.В., Власик Г.М., Зінченко О.В., Кравець В.І. Функціональна стійкість технологічних процесів та формування індивідуальної стратегії управлінням експлуатацією виробничих центрів. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2021. №1(70). С. 4-16.
3. Zamrii I. Algorithm for forming and non-network optimization of the control program of the production center using nonlinear dynamics methods. *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2021. №71. Vol.1. Pp. 63-68.
4. Замрій І.В., Собчук В.В., Барабаш О.В., Мусієнко А.П. Методологія побудови функціонально стійкої інтелектуальної інформаційної системи виробничого підприємства. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка.* Серія фізико-математичні науки. 2021. №.4. С. 116-127.
5. Замрій І.В., Ткаченко О.М., Лемешко А.В., Кращенко Д.В., Підмогильний О.О. Динамічне рішення при багаторазовій оптимізації запитів. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2021. №2 (71). С. 46-54.
6. Zamrii I. V., Shkapa V. V., Vlasyk H. M. Fundamentals of metric theory of real numbers in their $\overline{Q_3}$-representation. *Matematychni Studii.* 2021. Vol. 56 №1. Pp. 3-19. **(This journal is indexed in Elsevier Scopus)**
7. Zamrii, I., Sobchuk, V., Sobchuk, A., Laptiev, S., Laptieva, T., Samosyuk, V. Method of Data Processing in Information Systems Using Solutions of Differential Equations with Impulse Effect. *International Journal of Science and Engineering Investigations*. 2021. Vol. 10. ISSUE 111. Pp. 1–6.
8. Замрій І. В., Макарцев М. О., Тушич А. М., Алексіна Л. Т. Проблеми, труднощі та можливості IoT та хмарних обчислень. *Зв'язок*. 2021. №4. С. 20-25.
9. Zamrii I. V. Singular and fractal properties of functions associated with three-symbolic system of real numbers coding: *monograph*/ Editors: Alberto Espuny Díaz, Elena López-Navarro, Ana Navarro-Quiles. TEMat monográficos. 2021. 2. Pp. 139-142.
10. Zamrii, I., Kotok, V., Kovalenko, V., Nafeev, R., Verbitskiy, V., Melnyk, O., Plaksiienko, I., Kovalenko, I., Stoliarenko, V., Plaksiienko, V. Efficiency definition of the deposition process of electrochromic Ni(OH)2-PVA films formed on a metal substrate from concentrated solutions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*.2021. 6 (12 (114)). Pp. 27–33. **(This journal is indexed in Elsevier Scopus)**
11. Замрій І.В., Собчук В.В., Олімпієва Ю.І., Лаптєв С.О. Функціональна стійкість технологічних процесів на основі нелінійної динаміки із застосуванням нейромереж. *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Том 5, № 2. С. 49-57.

12. Zamrii I. V. Modular design of production centers to provide functional stability of technological operations based on neural networks. *Sciences of Europe. Praha*. 2021. Vol. 1. No 80. Pp. 31 – 37.

13. Замрій І.В., Вишнівський В.В. Структура єдиного інформаційного простору підприємства з критичною інфраструктурою. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2021. №3 (72). С. 12-24.

14. Zamrii I. V., Shkapa V. V., Vlasyk H. M. Best approximation of periodic functions in the Lebesgue spaces. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. 2021. V. IX (33). Issue: 262. Pp. 30-32.

15. Замрій І.В., Придибайло О.Б., Захаржевський А. Г., Полонський К. В. Аналіз безпеки сервіс-орієнтованого програмування. *Зв'язок*. 2021. №5. С.29-33.

16. Zamrii I. V. Strategy of management of functional stability of the information system of the industrial enterprise. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*. 2021. Vol. 29, No 1. Pp. 659-667.

17. Замрій І. В., Вишнівський В. В., Катков Ю. І., Лисак В. П. Розроблення прототипу приватної хмари на базі OpenStack за допомогою засобів автоматичного розгортання. *Зв'язок*. 2021. №6. С.18-25.

18. Замрій І.В., Печериця В.В, Бондарчук А.П. Розробка методики прототипування об'єктів інформаційної системи на базі технології JAVASCRIPT, NODE.JS. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2021. №4 (73). С. 12-19.

19. Zamrii I.V., Vlasyk H.M., Sobchuk V.V., Shkapa V.V. Bernstein-Nikol'skii-type inequalities for trigonometric polynomials. *Carpathian Mathematical Publications*. 2022. 14 (1). Pp. 147-157. **(This journal is indexed in Elsevier Scopus and Web of Science)**

20. Zamrii I., Sobchuk V., Laptev O., Savchenko V., Shkapa V., Kovalenko V., Kotok V. Fractal functions and their application to source data coding. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2022. Vol. 17. No. 4. Pp. 424-435. **(This journal is indexed in Elsevier Scopus)**

21. Замрій І.В., Собчук В.В., Барабаш А.О. Ідентифікація вхідних елементів інформаційного простору та відновлення їх параметрів в єдиному інформаційному просторі виробничого підприємства з критичною інфраструктурою. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. № 75. 2022. С. 78 – 87.

22. Замрій І.В., Собчук А.В., Лаптєв С.О., Лаптєва Т.О. Алгоритм контролю та прогнозування функціональної стійкості складних інформаційно-технічних систем. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2022. №1 (74). С. 4-14.

23. Замрій І.В., Паткін Є.Д. Стохастична модель визначення безарбітражності і повноти інформаційної системи. *Зв'язок*. 2022. №1. С. 53-58.

24. Замрій І.В., Вишнівський В.В. Метод ідентифікації атомарних елементів інформаційного простору за допомогою єдиного інформаційного простору. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія фізико-математичні науки*. 2022. №3. С. 47-54.

25. Zamrii I., Sobchuk V., Barabash O., Musienko A., Lukova-Chuiko N. Methodological aspects of teaching mathematical modeling in the system of

university education. *Interdisciplinary Studies of Complex Systems*. 2022. No. 21. Pp. 59–87. **(This journal is indexed in Web of Science).**

26. Замрій І.В., Гринкевич Г.О., Захаржевський А.Г., Василенко В.В. Алгоритм динамічного резервування канального ресурсу агрегованого потоку даних. *Зв'язок*. 2022. №4. С. 17-21.

27. Замрій І.В., Сосновий В. О. Безпека мережі з використанням рекурентної нейромережі. *Зв'язок*. 2022. №5. С. 21-24.

28. Замрій І.В. Технології машинного навчання функціонально стійкої інтелектуальної інформаційної системи закладу вищої освіти. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2023. №1 (78). С. 42-52.

29. Zamrii I. V. Lebesgue structure and properties of the inversor of digits of Q_s-representation for fractional part of real number. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Science.* V (16), Issue: 148. Budapest, 2017. Pp. 47-49.

30. Zamrii I., Barabash O., Kopiika O., Sobchuk V., Musienko A. Fraktal and Differential Properties of the Inversor of Digits of Q_s-Representation of Real Number: *monograph*/ Editors: Sadovnichiy, V., Zgurovsky, M. (eds) Modern Mathematics and Mechanics. Fundamentals, Problems and Challenges. Springer International Publishing AG. 2019. Pp. 79 – 95. **(This journal is indexed in Elsevier Scopus)**

31. Zamrii I.V., Vlasyk H.M., Shkapa V.V. Estimates of the best orthogonal trigonometric approximations and orthoprojective widths of the classes of periodic functions of many variables in a uniform metric. *Journal of Mathematical Sciences*. 2020. Vol. 246. No. 1. Pp. 110-119. **(This journal is indexed in Elsevier Scopus)**

32. Замрій І.В., Олімпієва Ю.І. Функціональна стійкість інформаційно-керуючої системи та нейромережева оптимізація роботи інформаційної системи виробничого центру. *Світ інформації та телекомунікацій:* матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції студентства та молоді. (м. Київ, Україна, 21 жовтня 2021 р.). Київ, 2021. С. 184-185.

33. Замрій І.В., Собчук В.В. Інтелектуальна система діагностування і управління функціональною стійкістю технологічного процесу. *Інформатика, управління та штучний інтелект (ІУШІ-2021)*: матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції. (м. Харків – м. Краматорськ, Україна, 16-19 листопада 2021 р.) Краматорськ, 2021. С. 52.

34. Zamrii I., Shkapa V., Sobchuk V. and Vlasyk H. Application of Greedy Algorithms on Classes (ψ, β) – differentiable Periodic Functions in Lebesgue Spaces for Optimization Problems. *CEUR Workshop Proceedings*. 2021. Pp. 128–134. **(This journal is indexed in Elsevier Scopus)**

35. Замрій І.В. Побудова єдиного інформаційного простору для оптимального налаштування роботи виробничого центру і забезпечення функціональної стійкості. *Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами*: матеріали VIII Міжнародної науково-технічної Internet-конференції. (м. Київ, Україна, 25-26 листопада 2021 р.). Київ, 2021. С. 81-82.

36. Замрій І.В., Собчук В.В., Зеленська І.О. Функціональна стійкість виробничих процесів в динамічних процесах механічної обробки тіл обертання. *Сучасні інфокомунікаційні технології*: матеріали XIII Науково-технічної конференції, (м. Київ, Україна 10 грудня 2021 р.). Київ, 2021. С.7-9.

37. Zamrii I., Sobchuk V., Vlasyk H., Tsvietkova Yu. Strategies for Control Automated Production Centers to Ensure the Functional Stability of Enterprise Information Systems. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT).* 2021 IEEE 3th International Conference. (Kyiv, Ukraine December 15-17, 2021). Kyiv, 2021. Pp. 61-66. **(This journal is indexed in Elsevier Scopus)**

38. Zamrii I., Vlasyk H., Shkapa V., Laptiev S., Kalyniuk A., Laptieva T. The Method of Solving Problems of Optimal Restoration of Telecommunication Signals. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT).* 2021 IEEE 3th International Conference. (Kyiv, Ukraine December 15-17, 2021). Kyiv, 2021. Pp. 71-75. **(This journal is indexed in Elsevier Scopus)**

39. Замрій І.В., Собчук В.В. Забезпечення функціональної стійкості виробничих процесів виробничих підприємтсв за допомогою нейромереж. *Системний аналіз, інтелектуальні системи для бізнесу та управління*: матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції. (м. Київ, Україна, 24-25 березня 2022 р.). Київ, 2022. С. 11-15.

40. Замрій І.В., Собчук В.В., Вишнівський В.В. Стратегія управління функціональною стійкістю інформаційної системи підприємства з використанням нейромереж. *Інформатика, управління та штучний інтелект (ІУШІ-2022)*: матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції, (Харків – Краматорськ, Україна,11-13 травня 2022 р.). Краматорськ, 2022. С. 49.

41. Zamrii I., Sobchuk V., Laptiev S., Sobchuk A., Nakonechnyi V., Shcheblanin Y. Estimates for Harmonic Operators in Modeling Application Processes. *System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)*: 2022 IEEE 3rd International Conference. 2022. Pp. 1-5. **(This journal is indexed in Elsevier Scopus)**

42. Zamrii I., Shkapa V., Vlasyk H. Recovery and identification of information in the information space. *Advanced Trends in Information Theory (ATIT).* 2022 IEEE 4th International Conference. (Kyiv, Ukraine December 15-17, 2022). Kyiv, 2022. Pp. 187-192. **(This journal is indexed in Elsevier Scopus)**

43. Zamrii I., Haidur H., Sobchuk A., Hryshanovych T., Zinchenko K., Polovinkin I. The Method of Increasing the Efficiency of Signal Processing Due to the Use of Harmonic Operators *Advanced Trends in Information Theory (ATIT).* 2022 IEEE 4th International Conference. (Kyiv, Ukraine December 15-17, 2022). Kyiv, 2022. Pp. 138-141. **(This journal is indexed in Elsevier Scopus)**

44. Zamrii I., Sobchuk V., Laptiev S. Ensuring Functional Stability of Technological Processes as Cyberphysical Systems Using Neural Networks. Springer Nature Switzerland AG 2023 O. Arsenyeva et al. (Eds.): *Smart Technologies in Urban Engineering Proceedings of STUE-2022. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023.Volume 536. Pp. 581–592. **(This journal is indexed in Elsevier Scopus and Web of Science).**

АНОТАЦІЯ

Замрій І.В. *Інформаційна технологія забезпечення функціональної стійкості інформаційної системи закладу вищої освіти.* — Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». — Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, 2023.

У дисертаційному дослідженні обґрунтовано та розроблено науково-методичний апарат управління продуктивністю, конфігурацією та безпекою з метою ефективного використання сучасних інформаційних та апаратних ресурсів інформаційних систем закладів вищої освіти. Досліджено актуальну проблему розробки методологічних основ побудови функціонально стійкої інформаційної системи закладу вищої освіти, яка відрізняється від існуючих тим, що вона базується на виявленні дестабілізуючих факторів і реконфігурації інформаційної системи. Аргументовано доцільність використання програмно-визначеної глобальної мережі з криптостійким шифруванням та автентифікацією кінцевих точок, що дозволяє підвищити продуктивність інформаційної системи. Проаналізовано питання формування єдиного інформаційного простору закладу вищої освіти, що ґрунтується на виборі якісного набору ознак елементів та різних інформаційних систем і дозволяє сформувати функціонально стійку інфраструктуру інформаційної системи закладу вищої освіти. Удосконалено модель управління інформаційною системою, яка дозволяє визначити мінімальний обсяг управляючої інформації при якій параметри мережі матимуть задану точність та забезпечувати необхідну пропускну здатність інформаційної системи. Удосконалено мережу інформаційної системи закладу вищої освіти, яка ґрунтується на централізації управління мережею, автоматизації процесів конфігурації та управління, дозволяє забезпечити масштабованість мережі, досягати стабільної безпеки незалежно від місця розташування користувачів. Запропоновано інструментарій підвищення безпеки інформаційної системи закладу вищої освіти під час впливу різних дестабілізуючих факторів, який полягає в реконфігурації мережі інформаційної системи і дозволяє підвищити функціональну стійкість інформаційної системи, захищати цифрові активи закладу вищої освіти. Встановлено, що використання функціонально стійкої інформаційної системи закладу вищої освіти дозволяє підвищити показник функціональної стійкості на 12% у порівнянні з відомими методами. Доведено доцільність використання розробленої інформаційної системи закладу вищої освіти з погляду забезпечення високого рівня продуктивності, безпеки та управління.

Ключові слова: інформаційна технологія, функціональна стійкість, інформаційна система, інформаційна надмірність, інформаційна безпека, єдиний інформаційний простір, ознаки, оцінка ризиків, затримка, мережа.

ABSTRACT

Zamrii I.V. *Information technology to ensure the functional stability of the information system of the institution of higher education.* — Manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.13.06 "Information technologies". — State University of Information and Communication Technologies, Kyiv, 2023.

The functioning of a higher education institution is directly related to informational, human, material and financial resources. The analysis of scientific works showed that in order to effectively solve the tasks of managing these resources, it is necessary to implement an information system of a higher education institution, which is based on the concept of a single information space of a higher education institution, which will make it possible to use resources much more efficiently, since there is an optimal balance between software and hardware load, and the costs of management, support and modification of the information system of the higher education institution as part of a single information space are reduced.

Since the important conditions for the functioning of the information system are the provision of fault tolerance and reliability of the system, increased protection of information under the influence of external and internal destabilizing factors, high-quality performance of the main functions, high efficiency in the 24/7 operating mode, there is a need to ensure the functional stability of the information system. In the dissertation research, the scientific and methodological apparatus of productivity, configuration and security management is justified and developed in order to effectively use modern information and hardware resources of information systems of higher education institutions. The conducted analysis made it possible to determine strategies for the implementation of the principles of building the functional stability of the information system based on the methodology of functional stability and modern information technologies. Therefore, the work investigates the actual problem of developing the methodological foundations of building a functionally stable information system of a higher education institution, which differs from the existing ones in that it is based on the identification of destabilizing factors and the reconfiguration of the information system. The expediency of using a software-defined global network with crypto-resistant encryption and authentication of endpoints is argued. The developed model of the information system of a higher education institution based on a software-defined global network allows you to gain full control over the entire information system of a higher education institution, increase the level of productivity, reduce operating costs, optimize the work of systems, networks and employees, while the characteristics of the information system can be the need to adjust in real time and maintain its functional stability at a high level. This model is based on the restoration of performance indicators of the quality of service and provides a unified set of functions and functionality for accessing the information system regardless of the location of users. In order to unambiguously recognize arbitrary elements from different information systems and resolve

contradictions in the implementation of methods of unification of information resources of the entire institution of higher education, which come from different organizational structures, a model of a unified information space of an institution of higher education was developed, which is based on the method of choosing a qualitative set of features of elements. The information system management model has been improved, which allows you to determine the minimum amount of control information at which the network parameters will have the specified accuracy and provide the necessary bandwidth of the information system. The network of the information system of the institution of higher education has been improved, which is based on the centralization of network management, the automation of configuration and management processes, allows to ensure the scalability of the network, to achieve stable security regardless of the location of users. A toolkit for improving the security of the information system of a higher education institution under the influence of various destabilizing factors is proposed, which consists in the reconfiguration of the information system network and allows to increase the functional stability of the information system, to protect the digital assets of the higher education institution. A methodology for building an information system of a higher education institution has been developed, the scientific novelty of which is the unification of all organizational structures, information resources and external information influences for the organization of an information system based on a protected single information space of a higher education institution, systems, technologies, methods and allows to ensure functional stability of the information system of the institution of higher education. The methodology of the procedure for the organization of the information system based on the unified information space of the institution of higher education is based on the model of the unified information space of the institution of higher education, methods of recognition of elements of the information system, reconstruction of features of elements of the information system and synchronous recognition of elements, algorithms of relationships between elements and their sets of feature values allows to increase the effectiveness of the information system of the institution of higher education and management decision-making. The feasibility of using the developed information system of a higher education institution from the point of view of ensuring a high level of productivity, security and management, which fully meets the requirements of the functional stability coefficient and can reach a value of 0.96, is substantiated. It was established that the use of a functionally stable information system of a higher education institution allows to increase the indicator of functional stability by 12% compared to known methods due to increased productivity, management and a high level of security. The reliability of the main results of dissertation research is substantiated by positive conclusions about the verification of the obtained scientific results during their practical use.

Key words: information technology, functional stability, information system, information redundancy, information security, unified information space, signs, risk assessment, delay, network.