

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК
СЕКЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОЕКТУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему: «Моделювання процесів виникнення і усунення помилок для прогнозування надійності людино-машинних систем обробки інформації і управління»

за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»,
освітньо-професійна програма «Інформаційні технології проектування»

Виконавець роботи: студентка групи ІТ.м-91 Михайленко Юлія Сергіївна

Кваліфікаційну роботу захищено на засіданні ЕК з оцінкою

«___» грудня 2020 р.

Науковий керівник

(підпис)

д.т.н., проф. Лавров Є.А.

Голова комісії

Шифрін Д.М.

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Суми-2020

Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук
Секція інформаційних технологій проектування
Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»
Освітньо-професійна програма «Інформаційні технології проектування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. секцією ІТП

_____ В. В. Шендрик
«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра студентіві

Михайленко Юлія Сергіївна

1 Тема проекту Моделювання процесів виникнення і усунення помилок для прогнозування надійності людино-машинних систем обробки інформації і управління

затверджена наказом по університету від «26» листопада 2020 р. № 1824-III

2 Термін здачі студентом закінченого проекту « 11 » грудня 2020 р.

3 Вхідні дані до проекту _____
Типові функціональні структури, літературні джерела з питань розроблення моделей для типових функціональних структур та їх ймовірнісні характеристики.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити) _____

Аналіз методів моделювання людини-оператора в системах обробки інформації та управління і постановка задачі, проектування оцінки надійності людино-машинних систем обробки інформації та управління, розробка комплексу аналітичних моделей процесів виникнення і усунення помилок декількох типів, розробка технології імітаційного моделювання процесів виникнення і усунення помилок декількох типів, аналіз достовірності результатів аналітичної та імітаційної моделей процесів виникнення і усунення помилок декількох типів.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____

Актуальність, аналіз методів моделювання, постановка задачі, розробка аналітичних моделей для типових функціональних структур, розробка імітаційних моделей для типових функціональних структур, комп'ютерне моделювання, аналіз результатів імітаційної та аналітичної моделей, впровадження, апробація

6. Консультанти випускної роботи із зазначенням розділів, що їх стосуються:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

Дата видачі завдання _____
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів випускної проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Ідентифікація ідеї проекту	02.09.20-02.09.20	
2	Аналіз методів моделювання діяльності людини-оператора	03.09.20-07.09.20	
3	Постановка задачі та планування робіт	08.09.20-16.09.20	
4	Проведення аналітичного моделювання	17.09.20-12.10.20	
5	Проведення імітаційного моделювання	13.10.20-13.11.20	
6	Порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання	16.11.20-27.11.20	
7	Створення документації	09.09.20-02.12.20	
8	Здача пояснювальної записки	11.12.20	
9	Презентація проекту	21.12.20	

Магістрант _____

Михайленко Ю.С.

Керівник роботи _____

д.т.н., проф. Лавров Є.А.

РЕФЕРАТ

Тема магістерської роботи: «Моделювання процесів виникнення і усунення помилок для прогнозування надійності людино-машинних систем обробки інформації і управління».

Пояснювальна записка складається з вступу, 5 розділів, висновка, додатків, списку літератури, містить 116 сторінок, 6 таблиць, 42 ілюстрації, 43 джерела.

Перший розділ складається з аналізу методів моделювання людини-оператора в системах обробки інформації і управління та вибору методів, на основі яких будуються моделі. Також відбувається формулювання задачі, мета та визначаються засоби реалізації.

Другий розділ містить опис процесу розробки математичних та імітаційних моделей. В розділі створюються дочірня та контекстна діаграми методології IDEF0, а також діаграма варіантів використання.

Третій розділ описує принципи аналітичного моделювання, на основі яких будуються математичні моделі для типових функціональних структур з помилками декількох типів. Проводиться комп'ютерне моделювання аналітичних моделей та будуються відповідні графіки.

У четвертому розділі розробляються принципи імітаційного моделювання та створюються імітаційні моделі для типових функціональних структур з різними типами помилок. Проводиться комп'ютерне моделювання імітаційних моделей та будуються відповідні графіки.

У п'ятому розділі проводиться порівняння результатів аналітичної та імітаційної моделей за допомогою графіків.

Результат зробленої роботи складається з розроблених математичних та імітаційних моделей для оцінки надійності людини-оператора в системах обробки інформації і управління.

Ключові слова: надійність, людина-оператор, модель, автоматизована система, функціональна структура, ергономіка.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ЛЮДИНИ-ОПЕРАТОРА В СИСТЕМАХ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	9
1.1. Методи оцінки і опису процесів людино-машинної взаємодії	9
1.2. Методологія для створення математичних моделей для типових функціональних структур людино-машинної взаємодії	13
1.3. Основні поняття імітаційного моделювання	17
1.4. Задачі та мета.....	19
1.5. Вибір засобів реалізації	20
2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ЛЮДИНО-МАШИННИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ І УПРАВЛІННЯ	21
2.1. Структурно-функціональне моделювання	21
2.2. Моделювання варіантів використання	24
3. РОЗРОБКА КОМПЛЕКСА АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСІВ ВИНИКНЕННЯ І УСУНЕННЯ ПОМИЛОК ДЕКІЛЬКОХ ТИПІВ.....	26
3.1. Розробка принципів аналітичного моделювання	26
3.2. Розробка графів подій для ТФС	28
3.2.1. Створення графу подій для ТФС «Робоча - контроль функціонування».....	28
3.2.2. Створення графу подій для типової функціональної структури «Послідовне виконання робочих операцій».....	29
3.3. Реалізація технології укрупнення графів подій та виведення математичних моделей	31
3.3.1. Створення математичних моделей для типової функціональної структури «Робоча - контроль функціонування»	31
3.3.2. Створення математичних моделей для типової функціональної структури «Послідовне виконання робочих операцій»	41

3.4. Проведення комп'ютерних експериментів з математичними моделями..	44
4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИНИКНЕННЯ І УСУНЕННЯ ПОМИЛОК ДЕКІЛЬКОХ ТИПІВ	47
4.1 Розробка принципів імітаційного моделювання	47
4.2 Розробка імітаційних моделей для базових ТФС діяльності оператора ...	48
4.2.1. Створення імітаційних моделей для ТФС «Робоча - контроль функціонування».....	48
4.2.2. Створення імітаційних моделей для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій»	51
4.3 Розробка моделей для оцінки показників діяльності оператора за результатами імітаційного моделювання	53
4.4 Проведення комп'ютерних експериментів з імітаційними моделями	54
5. АНАЛІЗ ДОСТОВІРНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ АНАЛІТИЧНОЇ ТА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСІВ ВИНИКНЕННЯ І УСУНЕННЯ ПОМИЛОК РІЗНИХ ТИПІВ.....	57
5.1 Проведення експериментальних досліджень для ТФС «Робоча - контроль функціонування»	57
5.2 Проведення експериментальних досліджень для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій».....	59
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	64
Додаток А. Планування робіт	71
Додаток Б. Порівняльний аналіз методів опису і оцінки процесів функціонування людино-машинних систем.....	78
Додаток В. Типові функціональні одиниці	85
Додаток Г. Типові функціональні структури для опису діяльності оператор	86
Додаток Д. Копії публікацій	89
Додаток Е. Копії актів впровадження	113
Додаток Ж. Копії дипломів студентських наукових робіт	114

ВСТУП

Актуальність. В автоматизованих системах управління більша половина аварій трапляється через «людський фактор». Оцінити людино-машинну взаємодію в АСУ дозволяє чимало моделей, але всі вони враховують тільки один тип помилки. Так як в реальних системах виникають помилки різних типів, то необхідно мати моделі, які дозволили б оцінити надійність людино-машинної взаємодії в системах обробки інформації і управління з можливістю виникнення і усунення помилок декількох типів.

Об’єкт дослідження. Людино-машинна взаємодія в автоматизованих системах управління.

Предмет дослідження. Оцінювання надійності людино-машинної взаємодії з помилками декількох типів.

Мета: Розробити аналітичні та імітаційні моделі оцінення надійності людино-машинної взаємодії з урахуванням можливості усунення та виникнення помилок різних типів.

Публікації. За матеріалами дослідження опубліковано 5 наукових робіт. Копії публікацій наведені в додатку Д.

Апробація. Результати були представлені на 3 наукових конференціях:

- Міжнародній науково-практичній конференції UNITECH’17, 18 листопада 2017р, м. Габрово.
- Науково-практичній конференції «Цифрові технології в освіті, науці, суспільстві», 30 листопада 2017р, м Петрозаводськ.
- Науково-практичній конференції «Цифрові технології в освіті, науці, суспільстві», 6 грудня 2018р, м Петрозаводськ.

Впровадження. Результати впроваджені в навчальний процес Сумського державного університету. Копія акту впровадження наведена в додатку Е.

Участь у конкурсах студентських наукових робіт. Робота зайняла призові місця на наступних конкурсах:

- Всеукраїнський конкурс наукових студентських робіт з напрямку «Комп'ютерні науки». (24-26 квітня 2019 року, м. Харків);
- Всеукраїнський конкурс наукових студентських робіт за напрямком «Інформаційні технології» (2019 року, м. Хмельницький);
- Всеукраїнський конкурс наукових студентських робіт за спеціальністю «Інформатика і кібернетика» (12-13 квітня 2018 року м. Вінниця).

Копії дипломів представлені в додатку Ж.

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ЛЮДИНИ-ОПЕРАТОРА В СИСТЕМАХ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1. Методи оцінки і опису процесів людино-машинної взаємодії

В останні роки завдання ергономічного забезпечення складних систем набувають все більшої актуальності [1-6]. У зв'язку з цим розробляються математичні моделі та інформаційні технології, спрямовані на пошук ергономічних резервів підвищення ефективності людино-машинних систем [7-12]. Більшість досліджень присвячено опису, оцінці та оптимізації діяльності операторів [13-19], аналізу та оцінці умов праці на робочих місцях [20-25]. Особливе місце в комплексі ергономічно завдань займає задача моделювання процесів виникнення і усунення помилок людини-оператора [26-31].

Сьогодні людино-машинні системи (ЛМС) розглядаються великою кількістю наук, в яких описується поняття «людського фактору» [6-8]. До опису процесів функціонування ЛМС відносяться такі формальні системи [32, 33]:

- до мовно-алгебраїчних систем відносяться мережі передування, GERT, PERT, функціональні мережі, МКП мережі;
- до алгебраїчних систем відносяться напівмарковські, марковські процеси і напівмарковські мережі обслуговування та інше;
- до логічних систем відносяться формальні граматики, мережі Петрі та інше.

Формальні граматики та автомати, що їм відповідають, дозволяють описати роботу алгоритмічної послідовної системи як зміну станів, враховуючи зовнішні впливи. Для опису систем з елементами, що паралельно функціонують та асинхронно взаємодіють, застосовуються Мережі Петрі [34]. Алгоритмічні моделі використовуються для опису послідовних алгоритмічних систем, але вони не враховують паралельно функціонуючі елементи [35-37].

Синтез узагальненої моделі колективної та індивідуальної діяльності як абстрактний граф може бути досягнений за допомогою структурно-алгоритмічного методу синтезу та аналізу діяльності професора Суходольського Г.В. [38]. В методі відсутня можливість опису паралельних процесів та формалізація всього процесу роботи системи, а не тільки дій людини.

В теорії ситуаційного управління [39] методи дозволяють описати функціонування складних систем на семантичному рівні

Всі вище перераховані методи не можна використовувати при оцінці показників функціонування ЕТС, це є значним недоліком.

Алгоритми функціонування, процеси виконання та прийняття рішень можуть бути описані функціональними мережами (ФМ), що є основою функціонально-структурної теорії (ФСТ). Це представляється не тільки графом подій, як в мережевих методах, але також і графом робіт.

Опис алгоритмів функціонування (АФ) досягається за допомогою типових функціональних одиниць (ТФО). Вони складаються з функціонерів (описують реальні операції та дії) та композиціонерів (для встановлення логіко-функціональних зв'язків між функціонерами).

Моделі, що оцінюють якість виконання АФ, враховуючи різні варіанти організації, та рішення для оптимізаційних задач ергономічного проектування представлено в роботах Лаврова Є.А. [40, 41].

Методи, що описують і оцінюють процеси функціонування ЛМС, порівнюються в додатку Б.

Для ергатичних системи використовується методика функціонально-структурної теорії професора Губинського А.І. [42], які дозволяють представити системи як дискретний кінцевий алгоритм з відповідними схемами. Діяльність оператора або групи операторів та операції представлені єдиним алгоритмом.

З ТФО складається алгоритмічна мова типових структур (АМТС). В додатку В представлені основні ТФО.

Оцінка показників ефективності, надійності і якості проводиться відповідно до 3 груп показників.

Для представлення результатів розрахунку та оцінки окремої функції або всій системи використовується група результуючих показників:

π - ймовірність виконання функції безпомилково;

θ - ймовірність своєчасного виконання;

φ - ймовірність своєчасного виконання функції та без помилки;

T – час виконання;

U - дохід, отриманий від виконання.

За конкретну першу операцію відповідає група вихідних показників, що потрібні для обчислення результуючих показників. Для призначення вихідних показників проводяться експерименти.

β_i - ймовірність виконання i -ої операції без помилки (з помилкою);

T_i - час на виконання i -ої операції;

r_i - дохід, отриманий від виконання i -ої операції.

Застосовуючи редукцію, проводиться розрахунок показників для ТФС, що утворюють групу проміжних показників [42]:

β_s - тотожня ймовірність виконання без помилки (з помилкою) ТФС;

T_s - тотожній час виконання ТФС;

U_s - тотожній дохід, отриманий від виконання ТФС.

ТФС представлені в додатку Г.

Гібридні системи - це системи з дискретними і безперервними елементами, наприклад, системи автоматичного управління, використовувані в промисловості - АСУ ТП (автоматизовані технологічні процеси), в побуті (складні побутові прилади), у військовій області (високотехнологічні види озброєнь), в сфері космонавтики, транспорту і зв'язку. Такі системи мають складну безперервну та дискретну динаміку. Їх характеризує безперервна зміна стану та стрибкоподібні варіанти логіки, що відповідає керуючій підсистемі, а її роль належить тому чи іншому обчислювальному пристрою (кінцевому автомату).

Трансформаційні системи відрізняються жорсткою логікою роботи та стабільними зовнішніми умовами. В таких системах чітку розмеженість мають

фази, що відносяться до обробки, отримання інформації та видачі кінцевих результатів. Коли відбувається звернення до системи, вхідні сигнали мають визначений стан. Після деяких обчислень з'являються сигнали на виходах. Алгоритм, за яким проводяться обчислення, перетворює набір даних, що є вхідним, у вихідний.

Інакше системи вважаються реактивними або керованими. Реактивною вважається динамічна система, що враховує зовнішні впливи, що є дискретними, та реагує на дії ці. Впливи та стани, в яких знаходиться система, впливають на реакції системи та самі відрізняються. Моменти, в які надходять ті чи інші впливи, є непередбачуваними – це і відрізняє реактивні системи від трансформаційних. Це пояснюється мінливістю умов, що мають такі системи.

Statechart, що є діаграмою станів і переходів, використовується для того, щоб змодельовати реактивні системи за методом візуального формалізму Д. Харела. До неграфічних компонентів таких діаграм відносяться дія та подія, а перехід та стан є графічними компонентами.

Поза системи може відбуватися щось, що можливо вимагає певних дій у відповідь, - це і є подією. Вона з'являються коли деякі дані або сигнали надходять та задаються людиною чи певною іншою частиною системи. При первному рівні абстрагуванні події є миттєвими.

На події моделюються реакції – дії. Так як і події, дії є миттєвими.

Стан - умови, в яких система, знаходиться певний час та веде однаково протягом цього часу. Прямокутні поля з округленими кутами представляють стани в діаграмі переходів.

Коли сталася якась подія, то змінився стан – це і є перехід. Між двома подіями проходить проміжок часу, якому і відповідає стан. Лінії зі стрілками вказують напрямок та показуються на діаграмі переходів – так зображуються переходи.

Перехід може бути зроблений за певною умовою, які співставляються з кожним переходом.

Певні дії співставляються з певним переходом та станом. Для позначення дій можуть бути використані наступні варіанти: дії виконуються один раз, коли відбувається вхід в стан; дії виконуються багато разів, коли вони всередині стану; дії виконуються один раз, коли відбувається вихід зі стану.

1.2. Методологія для створення математичних моделей для типових функціональних структур людино-машинної взаємодії

Перехід від "графа робіт" до "графу подій" дозволяє вивести формули для багатьох ТФС (рис. 1.1). Вершини "1" і "2" є поглинаючими вершинами, що відповідають станам. "1" - виконання алгоритму функціонування (АФ) без помилки, "2" - з помилкою, "4" та "5" представляють проміжні вершини. [43]

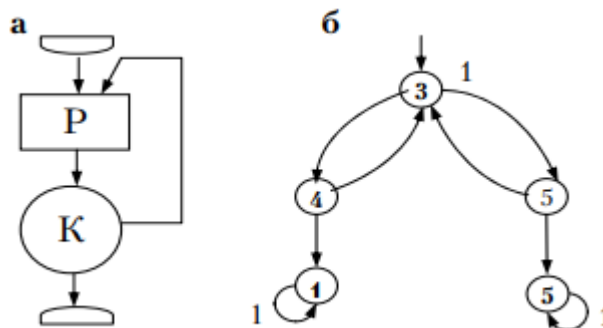


Рисунок 1.1 – ТФС «Робоча з контролем функціонування». Граф робіт – а та граф подій - б.

Дана технологія використовується для бінарних моделей помилок, але вона є необхідною для створення моделі для різних типів помилок.

Для створення моделі оцінки АФ людино-машинної взаємодії застосовується імовірнісний граф $G(X, Z)$, де початку і кінцю операцій відповідають вершини, а переходи представлені дугами (Z - множина дуг). [43]

Наступне перетворення дозволяє виконати аналіз алгоритму функціонування ЛМС:

$$G(X, Z) \rightarrow G(X^*, Z^*),$$

де $G(X^*, Z^*)$ - це імовірнісний граф, який є збільшеним та без проміжних вершин; ваги дуг, що мають напрямок з вершини початкової, яка означає прийняття рішення про те, що процес функціонування розпочався, в вершини поглинаючі, зображені як функціональні залежності від ваг дуг графа вихідного $G(X, Z)$, це дозволяє зробити обчислення витрати та ймовірності, що мають зв'язок з переходами від вершини початкової в вершини поглинаючі. [43]

В методі збільшення розмірності графів використовується поняття Н-функції [13,32]. Позначимо імовірнісний граф – $G(X, Z)$. Рівень виконання елемента процесу функціонування правильно вимірюється значенням ненульової ймовірності p_{ij} переходу від i до j , що застосовується для кожної дуги графа. Рівність $\sum_j p_{ij} = 1$ виконується для i , що належать X . [43]

Для кожній дуги (i, j) , що належить Z , ставиться випадкова величина витрат (час, вартість) t_{ij} , яка відповідає переходу від i до j . У величини t_{ij} є функція розподілу $F_{ij}(t)$ з щільністю $f_{ij}(t)$, дисперсія D_{ij} та математичне очікування M_{ij} . Рандомні значення t_{ij} - незалежні для усіх дуг.[43]

Н-функція для дуги (i, j) , що належить Z має наступну формулу:

$$H_{ij}(S) = p_{ij}L[F_{ij}(t)], \quad (1)$$

де L - оператор Лапласа, що застосовується доу $F_{ij}(t)$ - функції розподілу:

$$L[F_{ij}(t)] = \int_0^{\infty} e^{-st} dF_{ij}(t)$$

Використовуючи Н-функцію, маємо:

$$p_{ij} = H_{ij}(s) |_{s=0} ; \quad (2)$$

$$M_{ij} = -\frac{1}{p_{ij}} \frac{d}{ds} H_{ij}(s) |_{s=0} ; \quad (3)$$

$$D_{ij} = \frac{1}{p_{ij}} \frac{d^2}{ds^2} [H_{ij}(s)] |_{s=0} - (M_{ij})^2 ; \quad (4)$$

$$F_{ij}(t) = \frac{1}{p_{ij}} L^{-1} [H_{ij}(s)], \quad (5)$$

де L^{-1} є умовним позначенням, що відповідає зворотньому перетворенню Лапласа.

До графу робіт (рис. 1.1,а) та графу подій (рис. 1.1,б) типової функціональної структури "Робоча з контролем функціонування" без обмеження кількості циклів контролю $m = \infty$ застосуємо зменшення розмірності (рис. 1.2,а,б,в). [43]

Скорочення розмірності графа (рис. 1.1,б) можливо досягти за допомогою видалення транзитивних вершин 4 і 5, після чого з'являються однорідні петлі при вершині номер 3 (рис. 1.2,а,б).

Видалення петель, що є необмеженими, у вершині 3 дозволяє отримати укрупнений граф, в якому немає проміжних вершин (рис. 1.2,в). [43]

На рисунку зображені початковий та еквівалентні графи, а також відповідні Н-функції.

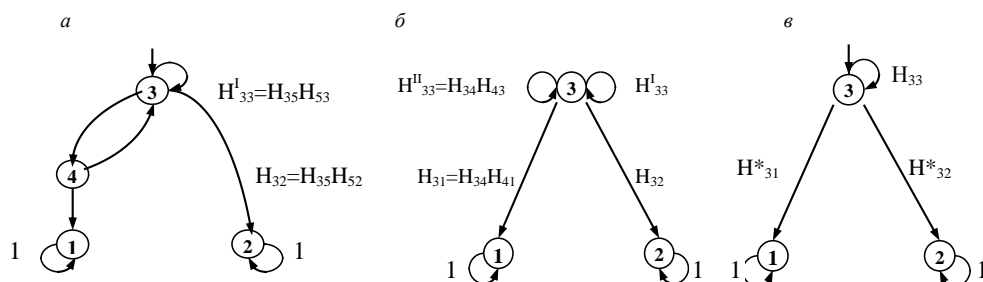


Рисунок 1.2 – Схема укрупнення графа (для ТФС рис. 1.1).

Для знаходження Н-функції дуг укрупненого графа $G(X^*, Z^*)$, що ґрунтується на Н-функціях дуг графа початкового $G(X, Z)$ використовується алгебра Н-функцій. Також враховуються формули для ймовірностей, математичних очікувань та щільності розподілів. Для проведення еквівалентних заміни необхідно використовувати три головні правила, що входять до алгебри Н-функцій: правило, що дозволяє об'єднати послідовні дуги; правило, що дозволяє видалити паралельні дуги; правило, що дозволяє видалити кінцеву дугу-петлі. [43]

Для імовірнісної графа ТФС "Робоча з контролем функціонування" (рис. 1.1,б), що не має обмежень на кількість циклів, що є допустимою для контролю, виведена матриця Н-функцій:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_{34} & H_{35} \\ H_{41} & 0 & H_{43} & 0 & 0 \\ 0 & H_{52} & H_{53} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Використавши формулу (1), виведені формули для Н-функцій:

$$\begin{aligned} H_{34} &= L[B^1 F_P(t)] & H_{35} &= L[B^0 F_P(t)] \\ H_{43} &= L[K^{10} F_K(t)] & H_{41} &= L[K^{11} F_K(t)] \\ H_{53} &= L[K^{00} F_K(t)] & H_{52} &= L[K^{01} F_K(t)] \end{aligned}$$

Де $B^0(B^1)$ – ймовірність того, що робоча операція виконалася з помилкою (без помилки); K^{ij} - ймовірності визнання контролем виконання результату як j за умови такої, що результат по факту i ; $F_K(t)$, $F_P(t)$, - закони розподілу часу виконання контролю функціонування і робочої операції відповідно. [43]

Видаливши вершину 5 і створивши обмежену однорідну петлю при вершині 3 (рис. 1.2, а) отримаємо матрицю:

$$H^{-5} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & H_{32} & H'_{33}(m) & H_{34} \\ H_{41} & 0 & H_{43} & 0 \end{bmatrix}$$

Видалення вершини номер 4 (рис. 1.2,б) дозволяє отримати матрицю з Н-функціями:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ H_{31} & H_{32} & H'_{33}(m) + H''_{33}(m) \end{bmatrix}$$

Користуючись правилом 8 (рис. 1.2,в), виведені наступні формули для Н-функції графа:

$$H_{31}^* = H_{31} \frac{1}{1 - H_{33}} = H_{34} H_{41} \frac{1}{1 - (H_{34} H_{43} + H_{35} H_{53})}$$

$$H_{32}^* = H_{32} \frac{1}{1 - H_{33}} = H_{35} H_{52} \frac{1}{1 - (H_{54} H_{43} + H_{35} H_{53})}$$

Для визначення характеристик структури необхідно підставити параметр Н-функції $s = 0$, що отримано на основі формул (2), (3), (4) та підсумкових Н-функцій. [43]

1.3 Основні поняття імітаційного моделювання

Для того, щоб відтворити функціонал системи необхідно відтворити її функції або модель елементів із зв'язками, тобто провести імітаційне

моделювання. Для цього застосовується метод статистичних випробувань, який дозволяє дослідити та змоделювати на комп'ютері процес функціонування системи завдяки утворенню рандомних впливів або процесів.

Моделювання можна розбити на декілька основних етапів:

1. Ставиться задача для дослідження, вивчається система, що моделюється, збирається емпірична інформація, виділяються основні проблеми моделювання.

2. Створюються математичні моделі, обираються структури, принципи, що дозволяють описувати моделі та підмоделей, формується ряд спрощень, вимірювальні параметри та критеріїв для оцінки моделі.

3. Розробляється програмного забезпечення, розраховується модель, виконується імітаційний алгоритм, генерується чи складається машинна програма.

4. Оцінюється адекватність аналітичної моделі та перевіряється, що алгоритм є достовірним та придатним, враховуючи ступінь погодженості та допустимості результатів, що показали контрольні експерименти з відповідними вхідними даними.

5. Проводяться експерименти з багатьма варіантами, обираються функціональні характеристики системи, яка досліджується, визначаються методи, за допомогою яких результати будуть оброблені.

6. Виконується модель, проводяться відповідні розрахунки та експерименти.

7. Результати аналізуються, формулюються висновки моделювання та описується використання результатів на практиці.

Імітаційне моделювання складних систем має основні елементи, до яких відносять:

– пристрій або засіб – елемент, що в імітаційній моделі дозволяє зробити імітацію процесу для обслуговування;

– заявка - являється початком будь-якого процесу, що описується в системі. Генератор заявок потрібен для того, щоб описати закони, за якими заявка надходить у систему;

– завдання - це будь-яка активність - також є елементом процесу;

- черга – елемент в моделі, який необхідний для статичного збирання результатів;
- процес - для нього описується модель;
- події – мають зв'язок із об'єктами системи та її станами, що змінюються.

1.4. Задачі та мета

При виконанні роботи була створена задача розробити аналітичні та імітаційні моделі для прогнозування надійності людино-машинних систем обробки інформації та управління при урахуванні можливості виникнення та усунення помилок декількох типів.

Метою є розробка математичних та імітаційних моделей для оцінення надійності людино-машинної взаємодії при урахуванні можливості усунення та виникнення помилок різних типів.

Проаналізувавши предметну область, сформулюємо головні задачі роботи:

- спланувати роботи проекту;
- обрати типові функціональні структури (ТФС);
- розробити принципи аналітичного моделювання для складних систем, що працюють з помилками декількох типів;
- розробити аналітичні моделі для ТФС;
- розробити принципи імітаційного моделювання для складних систем, що працюють з помилками декількох типів;
- розробити імітаційні моделі для ТФС;
- провести комп'ютерне моделювання з виникненням і усуненням помилок декількох типів;
- порівняти аналітичні та імітаційні моделі;
- перевірити достовірність результатів на імітаційній моделі.

1.5. Вибір засобів реалізації

Аналітичні розрахунки проводяться в програмі Microsoft Excel 2010, що дозволяє швидко та зручно обробити числові дані за допомогою багатьох вбудованих функцій та формул.

Для імітаційного моделювання використовується розширення програмного забезпечення Simulink для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем - Stateflow.

Stateflow надає елементи, необхідні для опису складної логіки в природному, читабельному і зрозумілому вигляді. Він тісно інтегрований з MATLAB і Simulink і надає ефективну середу для розробки вбудованих систем, систем керуючої і диспетчерської логіки, планувальника завдань, систем перемикання режимів роботи і реакції на помилки.

Stateflow дозволяє здійснювати інтерактивну анімацію поведінки систем і налагоджувати алгоритми, використовуючи вбудований відладчик.

Основними можливостями Stateflow є:

- Stateflow надає елементи мови, ієрархію, паралелізм і детерміновану семантику виконання для опису складної логіки в природному і зрозумілому вигляді;
- дозволяє визначати функції в графічному вигляді, використовуючи діаграми; процедурно, використовуючи функції MATLAB і в табличному вигляді, за допомогою таблиць істинності і таблиць переходів;
- підтримує планування переходів і подій за допомогою темпоральної логіки;
- анімація діаграм Stateflow і запис даних під час симуляції для кращого розуміння системи і спрощення налагодження;
- під час виконання перевіряє конфліктуючі переходи, проблеми зациклення, несумісність станів, порушення діапазонів даних і переповнення.

2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ЛЮДИНО-МАШИННИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ І УПРАВЛІННЯ

2.1. Структурно-функціональне моделювання

Для демонстрації основного процесу використання аналітичних та імітаційних моделей оцінки надійності людино-машинних систем обробки інформації та управління створена IDEF0 діаграма.

Розпочати процес моделювання необхідно з побудови контекстної діаграми. Вона складається тільки з одного блоку, який називається головною функцією. Метою людини, яка застосовує розроблені моделі, є отримання оцінок для прогнозування надійності людино-машинної взаємодії в системах обробки інформації і управління з урахуванням, що можливі усунення та виникнення помилок декількох типів - це і є основною функцією.

Для застосування моделей та отримання оцінок необхідно мати наступні вхідні данні:

- робота оператора повинна бути представлена алгоритмом у вигляді графа, що складається з типових функціональних структур (ФС);
- для функціональної структури повинні бути значення її функціональних одиниць для помилок двох типів – статистичні дані.

Процес контролюється структурно-функціональною теорією професора Губінського та технічним завданням.

Для досягнення мети необхідно використовувати програмне та технічне забезпечення.

У результаті отримуємо характеристики ФС, що розраховуються. Контекстна діаграма представлена на рис. 2.1.

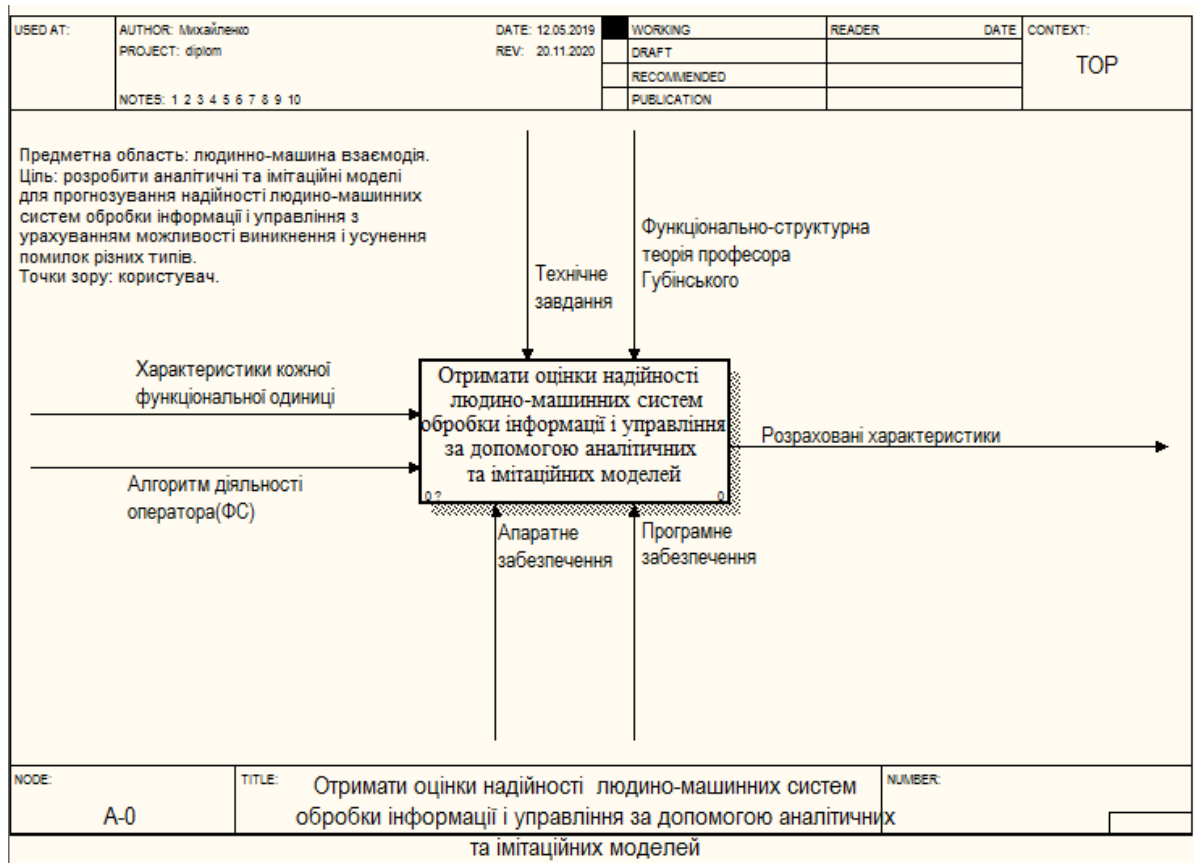


Рисунок 2.1 – Контекстна діаграма

Для деталізації контекстної діаграми створено діаграму нижнього рівня. Діаграма другого рівня має назву дочірня відносно діаграми контекстної і складається з функціональних блоків, які показують головні підфункції функціонального блоку основної діаграми.

По-перше, необхідно граф робіт, що описує діяльність оператора, розбити на типові функціональні структури. Вхідною інформацією є алгоритм діяльності оператора(функціональна структура). Вихідними даними є набір типових функціональних структур. Даний процес контролює структурно-функціональна теорія професора Губінського та технічне завдання.

Далі потрібно провести розрахунки за аналітичними моделями, тобто розрахувати ймовірності безпомилкового виконання, виконання з першою помилкою, з другою помилкою, з першою та другою помилками для кожної типової функціональної структури. Вихідними даними будуть розраховані

характеристики математичних моделей. Даний процес контролює структурно-функціональна теорія професора Губінського та технічне завдання.

Наступним етапом є проведення розрахунків за імітаційними моделями, тобто розрахувати ймовірності безпомилкового виконання, виконання з першою помилкою, з другою помилкою, з першою та другою помилками для кожної типової функціональної структури. Вихідними даними будуть розраховані характеристики імітаційних моделей. Даний процес контролює структурно-функціональна теорія професора Губінського та технічне завдання.

Останнім кроком є проведення порівняльного аналізу аналітичних та імітаційних моделей. Для цього потрібно мати такі вхідні дані: розраховані характеристики математичних та імітаційних моделей. Процес контролюється технічним завданням.

Програмне та програмне забезпечення використовується для реалізації кожного з етапів.

На рисунку 2.2 зображена діаграма дочірня з підфункціями.

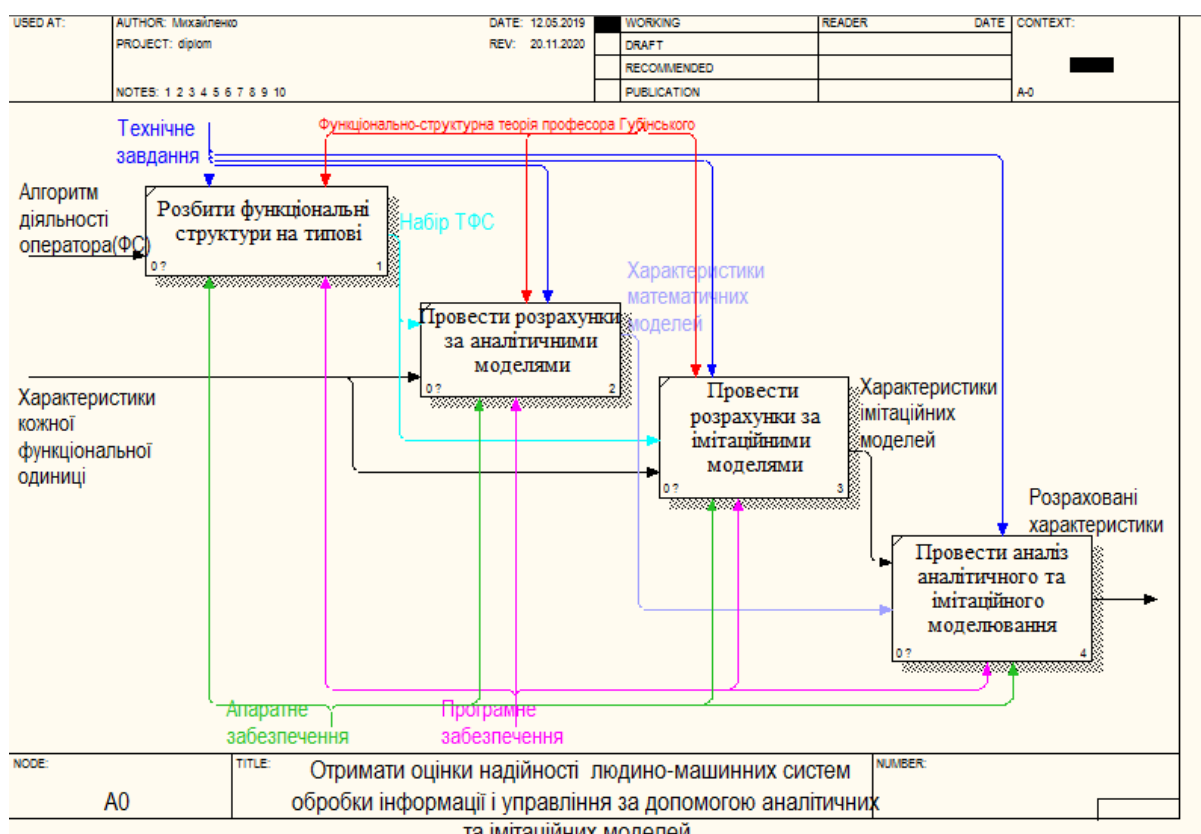


Рисунок 2.2 – Дочірня діаграма

2.2. Моделювання варіантів використання

Для чіткого визначення функціональних вимог для моделей та взаємодію з ними побудуємо UML-діаграму.

Для моделювання бізнес-процесів, процесів розробки програмного забезпечення, представлення організаційних структур та системного проектування використовують мову графічного опису UML.

Прецедент (варіант) та учасник (actor) – основні елементи діаграми.

Пов'язані ролі, що взаємодіють з сутностями таким, як підсистема, система або клас, або з прецедентами, називаються учасниками. До учасників відносять людину або клас, підсистему, іншу систему, що відображають щось, що є поза суті. На діаграмі учасник показується "чоловічком".

Система виконує різноманітні події (а також варіанти), що в дають учаснику певний результат. Опис таких подій і є прецедентами (use case). Прецедент є поведінкою суті та описує як учасники взаємодіють із системою. Прецедент показує "що" виконується, а не "як" деякий результат досягається. На діаграмі прецеденти показуються еліпсом, а всередині вказується назва.

До учасників розробленої діаграми варіантів використання відносяться:

- користувач – людина, яка використовує моделі;
- аналітична модель;
- імітаційна модель.

Системою виконуються наступні варіанти використання (прецеденти): проведення математичних розрахунків ймовірностей, моделювання діяльності оператора та отримання ймовірностей. В свою чергу вони включають в себе розрахунок ймовірності безпомилкового виконання, ймовірності виконання з 1 помилкою, ймовірності виконання з 2 помилкою, ймовірності виконання з 1 та 2 помилкою.

На рисунку 2.3 зображена діаграма варіантів використання.

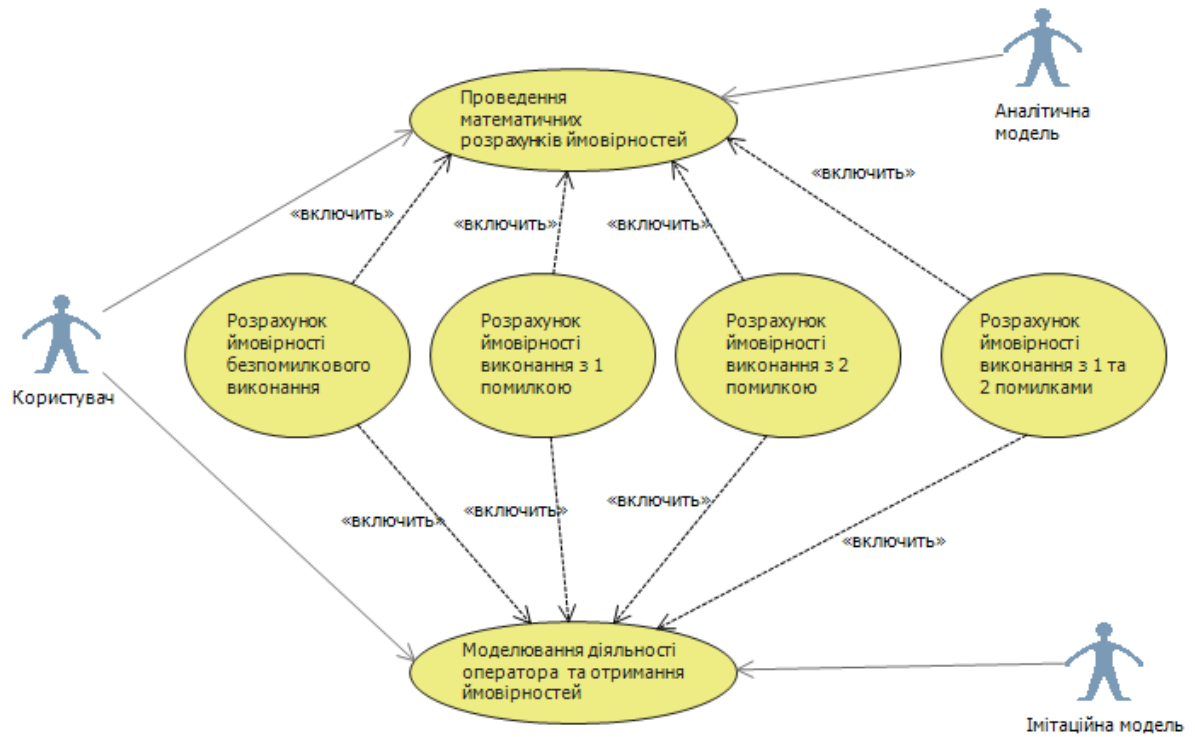


Рисунок 2.3 – Діаграма варіантів використання

3. РОЗРОБКА КОМПЛЕКСА АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСІВ ВИНИКНЕННЯ І УСУНЕННЯ ПОМИЛОК ДЕКІЛЬКОХ ТИПІВ

3.1. Розробка принципів аналітичного моделювання

Використовуючи функціонально-структурну теорію (ФСТ) розробимо набір принципів для аналітичного моделювання, які будуть застосовані для укрупнення ймовірнісних графів типових функціональних структур з урахуванням помилок різних типів. [43]

Принцип багатовимірності моделей. Коли виконуються алгоритми функціонування, повинні враховуватися, усуватися і виявлятися помилки багатьох типів. [43]

Принцип безлічі результатів при виконанні функції функціонально-структурної теорії. В результаті функція має N -арні результати ($N \geq 2$). N – це кінцеве число помітних станів результатів виконання функції, які є важливими для побудови аналітичних моделей. [43]

Принцип збільшення поглинаючих вершин. Від кількості багатьох помилок, які враховуються, усуваються і виявляються, залежить кількість вершин графа, що являються поглинаючими вершинами. В порівнянні з функціональними мережами з одним типом помилки, де якість оцінюється за методом "є помилка або немає помилки" та кількість поглинаючих вершин дорівнює двом, в багаторезультатних функціональних мережах ТФС ставиться $N = 2^n$ поглинаючих вершин. Враховується, що n відповідає кількості помилок з різними типами. [43]

Коли ймовірнісний граф, що відповідає ТФС, вже побудували, потім необхідно спростити граф за правилами укрупнення моделей. Для цього розроблений наступний алгоритм [43]:

1. Починаємо виконувати структуру.
2. Перевіряємо чи кількість початкових вершин є більшою, ніж одна. Якщо більшою, то йдемо на крок 3, в іншому випадку йдемо на крок 6.

3. Перевіряємо чи можливо об'єднати початкові вершини. Якщо можливо, то йдемо на крок 4, в іншому випадку йдемо на крок 6.
4. Об'єднуємо вершини відповідно до правила 1.
5. Переходимо до кроку 2.
6. Перевіряємо чи існують такі поглинаючі вершини, які можна об'єднати. Якщо існують, то йдемо на крок 7, в іншому випадку йдемо на крок 9.
7. Об'єднуємо поглинаючі відповідно до правила 3.
8. Переходимо до кроку 6.
9. Перевіряємо чи існують дуги, що є паралельними. Якщо існують, то йдемо на крок 10, в іншому випадку йдемо на крок 12
10. Об'єднуємо дуги, що є паралельними, відповідно до правила 2.
11. Переходимо до кроку 9.
12. Перевіряємо чи існують вершини, що є транзитивними. Якщо існують, то йдемо на крок 13, в іншому випадку йдемо на крок 15.
13. Видаляємо вершини, що є транзитивними відповідно до правил 4 і 5.
14. Переходимо до кроку 12.
15. Перевіряємо чи існують вершини, що є рекурентними. Якщо існують, то йдемо на крок 16, в іншому випадку йдемо на крок 21.
16. Перевіряємо чи обмежена кількість циклів. Якщо обмежена, то йдемо на крок 17, в іншому випадку йдемо на крок 19.
17. Видаляємо вершини, що є рекурентними, відповідно до правил 6 і 7.
18. Переходимо до кроку 6.
19. Видаляємо вершини, що є рекурентними, відповідно до правила 8.
20. Переходимо до кроку 15.
21. Закінчуємо виконання структури.

3.2. Розробка графів подій для ТФС

3.2.1. Створення графу подій для ТФС «Робоча - контроль функціонування»

До уваги візьмемо алгоритм функціонування, де враховуються, усуваються і виявляються помилки 2-х типів. Розглянемо типову функціональну структуру "Робоча з контролем функціонування", в якій не обмежується допустима кількість m циклів контролю ($m = \infty$). Принцип укрупнення графа та виведення матриці Н-функцій та бінарні результати операцій для неї представлені в п.1.2. На рис. 1.1,а представлений граф робіт для цієї ТФС. Для створення графу подій та подальшого виведення математичних формул, зазначимо події, що відбуваються при виконанні ТФС та врахуємо виникнення помилок двох типів [43]:

- 1) після того, як структура виконалася, маємо результат без першої та другої помилки;
- 2) після того, як структура виконалася, маємо результат без першої, але з другою помилкою;
- 3) після того, як структура виконалася, маємо результат з першою, але без другої помилки;
- 4) після того, як структура виконалася, маємо результат з першою та другою помилками;
- 5) структура почала виконуватися;
- 6) робоча операція виконалася без першої та другої помилки та відбувся перехід до операції контролю;
- 7) робоча операція виконалася без першої, але з другою помилкою, та відбувся перехід виконання до операції контролю;
- 8) робоча операція виконалася з першою, але без другої помилки, та відбувся перехід до виконання операції контролю;
- 9) робоча операція виконалася з першою та другою помилками, та відбувся перехід до операції контролю.

Граф подій для ТФС "Робоча з контролем функціонування" зображений на рис. 3.1. В ньому вершини відповідають подіям зазначеним вище. [43]

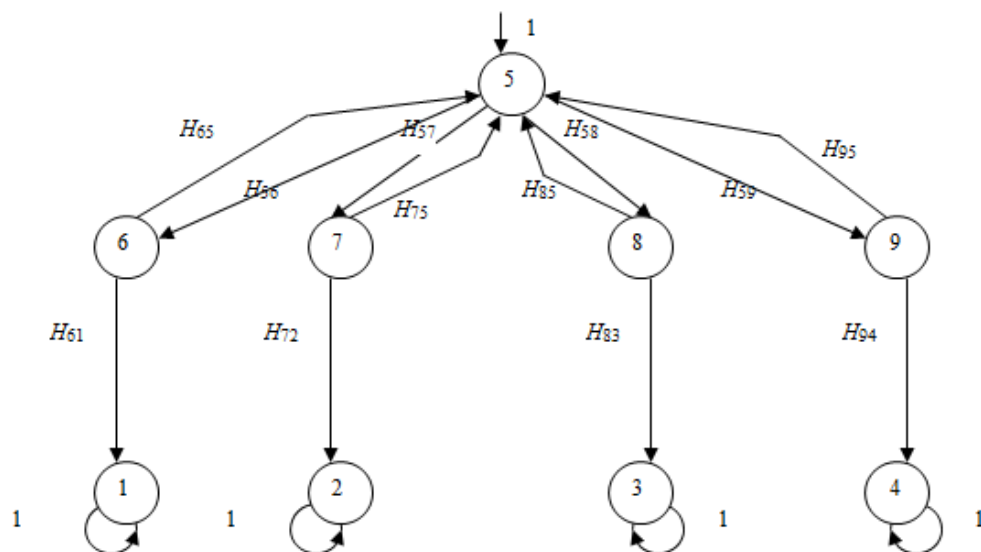


Рисунок 3.1 - Імовірнісний граф ТФС "Робоча з контролем функціонування" з допустимою кількістю m циклів контролю, що не має обмежень

3.2.2. Створення графу подій для типової функціональної структури «Послідовне виконання робочих операцій»

Типова функціональна структура «Послідовне виконання робочих операцій» представлена графом робіт, що зображений на рис. 3.2.

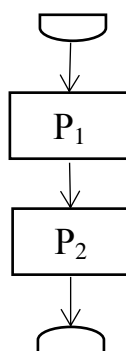


Рисунок 3.2 - Граф робіт типової функціональної структури «Послідовне виконання робочих операцій»

Для створення графу подій та подальшого виведення математичних формул, зазначимо події, що відбуваються при виконанні ТФС та врахуємо виникнення помилок двох типів [43]:

1) після того, як структура виконалася, маємо результат без першої та другої помилки;

2) після того, як структура виконалася, маємо результат без першої, але з другою помилкою;

3) після того, як структура виконалася, маємо результат з першою, але без другої помилки;

4) після того, як структура виконалася, маємо результат з першою та другою помилками;

5) структура почала виконуватися;

6) перша робоча операція виконалася без першої та другої помилки та відбувся перехід до виконання другої робочої операції;

7) перша робоча операція виконалася без першої, але з другою помилкою, та відбувся перехід до виконання другої робочої операції;

8) перша робоча операція виконалася з першою, але без другої помилки, та відбувся перехід до виконання другої робочої операції;

9) перша робоча операція виконалася з першою та другою помилками, та відбувся перехід до виконання другої робочої операції.

Граф подій для ТФС "Послідовне виконання робочих операцій" зображений на рис. 3.3.

В ньому вершини відповідають подіям зазначеним вище. [43]

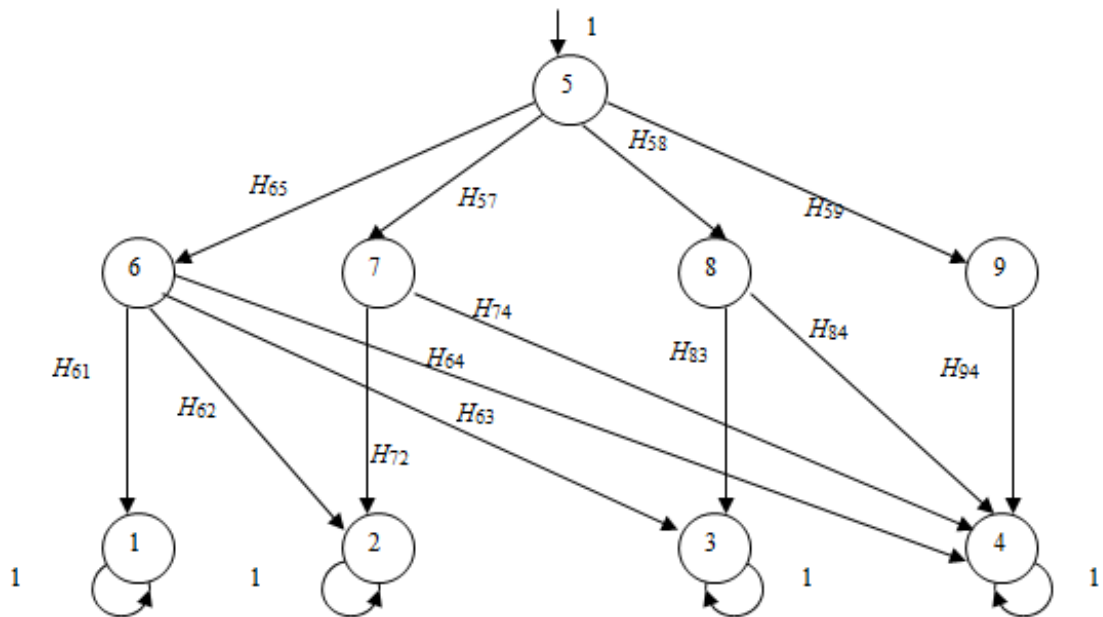


Рисунок 3.3 - Імовірнісний граф типової функціональної структури
«Послідовне виконання робочих операцій»

3.3. Реалізація технології укрупнення графів подій та виведення математичних моделей

3.3.1. Створення математичних моделей для типової функціональної структури «Робоча - контроль функціонування»

Розроблений ймовірнісний граф типової функціональної структури «Робоча операція з контролем функціонування» зображений на рис. 3.1. Для відображення результатів операції контролю з поверненням на робочу операцію були виділені фрагменти вихідного графа. (рис. 3.4,а,б). Поставимо у відповідність цим фрагментам на рис. 3.1 рівнозначні дуги з відповідними функціями H_{75} , H_{95} , H_{65} , H_{85} . Виведемо H -функції для дуг графа за формулою (1) [43]:

$$\begin{aligned}
H_{56} &= B^1_1 L[F_p(t)] * B^1_2 L[F_p(t)], H_{57} = B^1_1 L[F_p(t)] * B^0_2 L[F_p(t)], \\
H_{58} &= B^0_1 L[F_p(t)] * B^1_2 L[F_p(t)], H_{59} = B^0_1 L[F_p(t)] * B^0_2 L[F_p(t)], \\
H_{61} &= K^{11}_1 L[F_k(t)] * K^{11}_2 L[F_k(t)], H_{72} = K^{11}_1 L[F_k(t)] * K^{01}_2 L[F_k(t)], \\
H_{83} &= K^{01}_1 L[F_k(t)] * K^{11}_2 L[F_k(t)], H_{94} = K^{01}_1 L[F_k(t)] * K^{01}_2 L[F_k(t)], \\
H^1_{65} &= K^{10}_1 L[F_k(t)] * K^{10}_2 L[F_k(t)], H^2_{65} = K^{11}_1 L[F_k(t)] * K^{10}_2 L[F_k(t)], \\
H^3_{65} &= K^{10}_1 L[F_k(t)] * K^{11}_2 L[F_k(t)], H_{65} = H^1_{65} + H^2_{65} + H^3_{65}, \\
H^1_{75} &= K^{10}_1 L[F_k(t)] * K^{00}_2 L[F_k(t)], H^2_{75} = K^{11}_1 L[F_k(t)] * K^{00}_2 L[F_k(t)], \\
H^3_{75} &= K^{10}_1 L[F_k(t)] * K^{01}_2 L[F_k(t)], H_{75} = H^1_{75} + H^2_{75} + H^3_{75},
\end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
H^1_{85} &= K^{00}_1 L[F_k(t)] * K^{11}_2 L[F_k(t)], H^2_{85} = K^{00}_1 L[F_k(t)] * K^{10}_2 L[F_k(t)], \\
H^3_{85} &= K^{01}_1 L[F_k(t)] * K^{10}_2 L[F_k(t)], \\
H_{85} &= H^1_{85} + H^2_{85} + H^3_{85}, \\
H^1_{95} &= K^{00}_1 L[F_k(t)] * K^{00}_2 L[F_k(t)], H^2_{95} = K^{00}_1 L[F_k(t)] * K^{01}_2 L[F_k(t)], \\
H^3_{95} &= K^{01}_1 L[F_k(t)] * K^{01}_2 L[F_k(t)], \\
H_{95} &= H^1_{95} + H^2_{95} + H^3_{95};
\end{aligned} \tag{7}$$

B^0_1 (B^1_1) – ймовірність того, що робоча операція виконана з першою помилкою (без першої помилки);

B^0_2 (B^1_2) - ймовірність того, що робоча операція виконана з другою помилкою (без другої помилки);

$$B^1_{1(2)} + B^0_{1(2)} = 1;$$

$K^{11}_{1(2)}$ – ймовірність того, що контроль визнає робочу операцію виконаною без помилки першого (другого) типу враховуючи, що насправді вона виконалася без помилки першого (другого) типу;

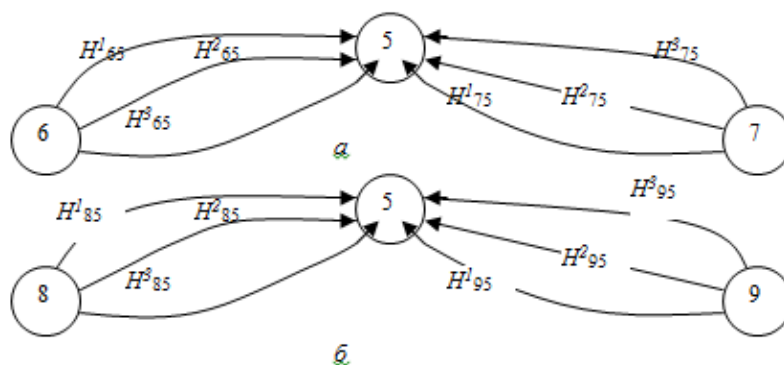


Рисунок 3.4 - Фрагменти ймовірнісного графа, які показують результати операції для контролю

$K_{1(2)}^{10}$ – ймовірність того, що контроль визнає робочу операцію виконаною з помилкою першого (другого) типу враховуючи, що насправді вона виконалася без помилки першого (другого) типу;

$K_{1(2)}^{00}$ – ймовірність того, що контроль визнає робочу операцію виконаною з помилкою першого (другого) типу враховуючи, що насправді вона виконалася з помилкою першого (другого) типу;

$K_{1(2)}^{01}$ – ймовірність того, що контроль визнає робочу операцію виконаною без помилки першого (другого) типу враховуючи, що насправді вона виконалася з помилкою першого (другого) типу;

$$K_{1(2)}^{11} + K_{1(2)}^{10} = 1; K_{1(2)}^{00} + K_{1(2)}^{01} = 1;$$

$F_p(t)$, $F_k(t)$ – закони, за яким розподіляється час, необхідний для контролю функціонування і робочої операції відповідно. [43]

Для Н-функцій дуг графа (рис. 3.2) виведена матриця [43]:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & H_{56} & H_{57} & H_{58} & H_{59} \\ H_{61} & 0 & 0 & 0 & H_{65} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H_{72} & 0 & 0 & H_{75} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & H_{83} & 0 & H_{85} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_{94} & H_{95} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Використав транзитивні вершини 6, 7, 8 і 9, скоротимо розмірність графа та матриці. Після того, як вершина 9 видалена, з'являється петля без обмеження ($m = \infty$) та матриця має вигляд [43]:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_{54} & H'_{55} & H_{56} & H_{57} & H_{58} \\ H_{61} & 0 & 0 & 0 & H_{65} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H_{72} & 0 & 0 & H_{75} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & H_{83} & 0 & H_{85} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

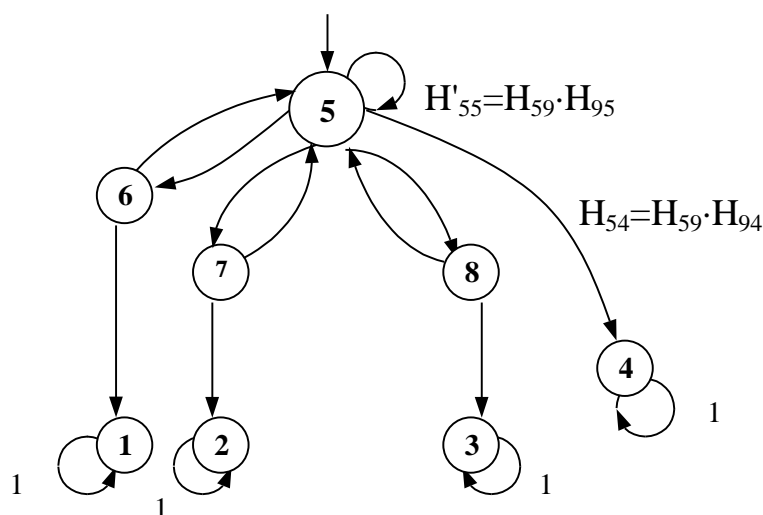


Рисунок 3.5 - Імовірнісний граф після видалення вершини 9

Після того, як вершина графа (рис. 3.5) 8 видалена, з'являється ще одна петля без обмеження ($m = \infty$) (рис. 3.6) та розмірність зменшується, а матриця має вигляд [43]:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & H_{53} & H_{54} & H'_{55} + H''_{55} & H_{56} & H_{57} \\ H_{61} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H_{72} & 0 & 0 & H_{75} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

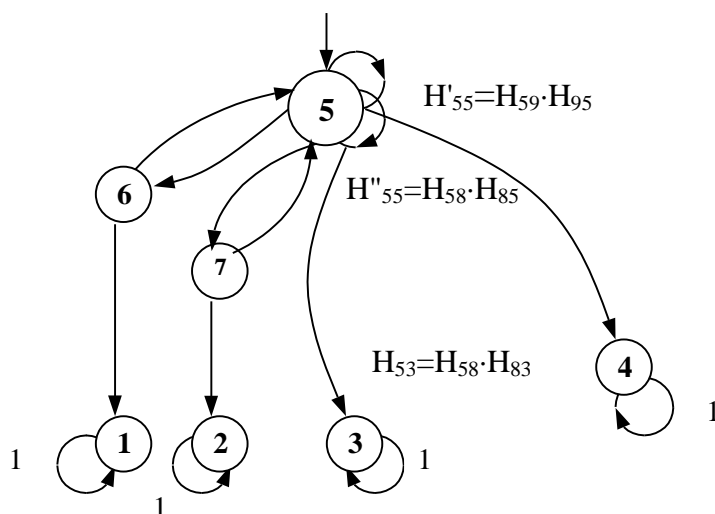
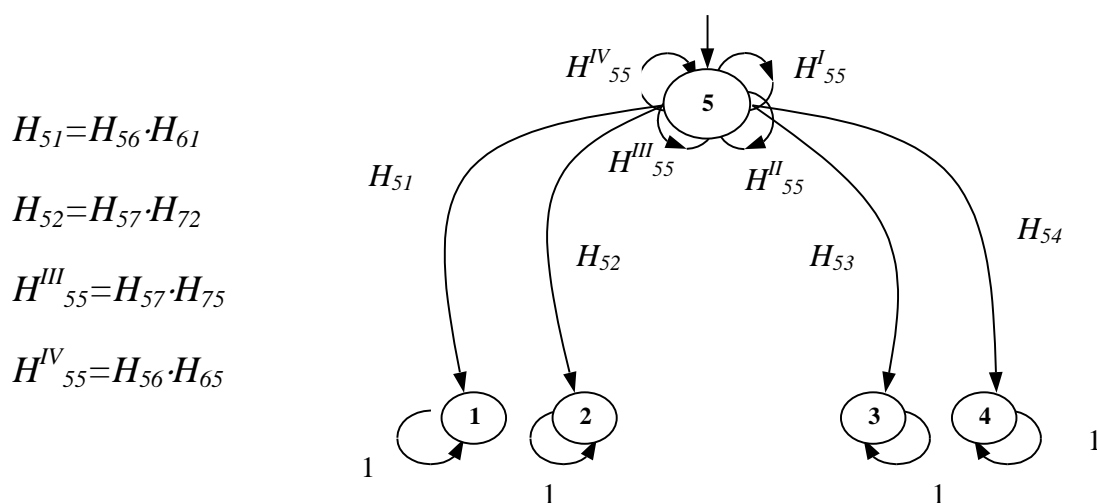


Рисунок 3.6 - Ймовірнісний граф після того, як вершина 8 була видалена

За таким же принципом після того, як вершини 7 і 6 видалені, з'являються 2 нові петлі без обмеження, а їх H -функції мають вигляд: $H_{55}^{IV} = H_{56} \cdot H_{65}$ та $H_{55}^{III} = H_{57} \cdot H_{75}$. Результуючий граф містить 4 петлі без обмеження (рис. 3.7). Для цього графа виведена відповідна матриця [43]:

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ H_{51} & H_{52} & H_{53} & H_{54} & H'_{55} + H''_{55} + H'''_{55} + H^{iv}_{55} \end{bmatrix}$$



$$H_{51} = H_{56} \cdot H_{61}$$

$$H_{52} = H_{57} \cdot H_{72}$$

$$H'''_{55} = H_{57} \cdot H_{75}$$

$$H^{IV}_{55} = H_{56} \cdot H_{65}$$

Рисунок 3.7 - Ймовірнісний граф після того, як транзитивні вершини видалені

Так як петлі, що утворилися у вершині 5, мають рівноцінне значення, то вони можуть бути замінені на одну однорідну петлю [43]

$$H_{55} = H^I_{55} + H^{II}_{55} + H^{III}_{55} + H^{IV}_{55}$$

$$H_{55} = H_{59} \cdot H_{95} + H_{58} \cdot H_{85} + H_{57} \cdot H_{75} + H_{56} \cdot H_{65} \quad (8)$$

Після застосування правила, що дозволяє видалити однорідні петлі без обмеження, виведемо результуючий граф (рис. 3.8) та відповідні Н-функції [43]:

$$H_{51}^* = H_{51} \frac{1}{1 - H_{55}}, \quad H_{52}^* = H_{52} \frac{1}{1 - H_{55}},$$

$$H_{53}^* = H_{53} \frac{1}{1 - H_{55}}, \quad H_{54}^* = H_{54} \frac{1}{1 - H_{55}} \quad (9)$$

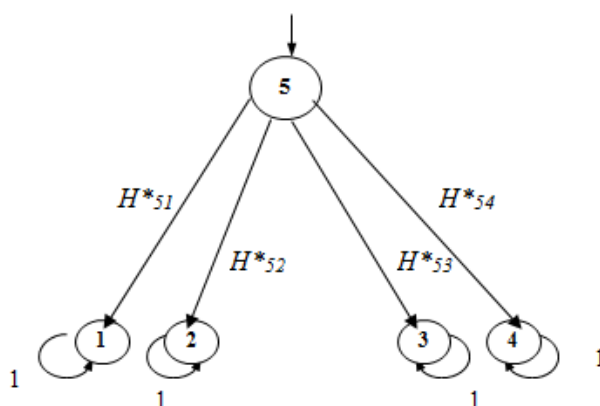


Рисунок 3.8 - Підсумковий імовірнісний граф

Після використання отриманих результуючих Н-функцій за формулами 9 та формул (1), (2), формул (6) та (7) для Н-функцій результуючого графа, виведемо підсумкові ймовірності застосовуючи підстановку параметра - $s = 0$ [43]:

$$V_{\{1,2\}} = H_{51}^*(0) - \text{ймовірність виконання без помилок};$$

$V_{\{1\}} = H_{52}^*(0)$ - ймовірність того, що ТФС виконалася з помилкою другого типу, але без помилки першого типу;

$V_{\{2\}} = H_{53}^*(0)$ - ймовірність того, що ТФС виконалася з помилкою першого типу, але без помилки другого типу;

$V_{\{0\}} = H_{54}^*(0)$ - ймовірність того, що ТФС виконалася з помилкою першого та другого типів.

$$H_{55}(0) = \sum_{\substack{i \in \{0,1\} \\ k \in \{0,1\}}} \left(B_1^i \cdot B_2^k \cdot \sum_{\substack{i \in \{0,1\} \\ j \in \{0,1\}}} K_1^{ii} \cdot K_2^{kj} \right) \quad (10)$$

Тут: $(i=1) \cap (j=1) = \emptyset$

Для скорочення формул використаємо позначення: $b = H_{55}(0)$. Таким чином, виведемо формули, що дозволяють отримати ймовірнісні значення для ТФС "Робоча з контролем функціонування" з можливістю виявлення та усунення двох типів помилок [43]:

$$\begin{aligned} V_{\{1,2\}} &= \left(\prod_{m=1}^2 B_m^1 \cdot K_m^{11} \right) \cdot \frac{1}{1-b}; & V_{\{1\}} &= B_1^1 \cdot K_1^{11} \cdot B_2^0 \cdot K_2^{01} \frac{1}{1-b}; \\ V_{\{2\}} &= B_2^1 \cdot K_2^{11} \cdot B_1^0 \cdot K_1^{01} \frac{1}{1-b}; \\ V_{\{0\}} &= B_1^0 \cdot K_2^{01} \cdot B_2^0 \cdot K_2^{01} \frac{1}{1-b}. \end{aligned} \quad (11)$$

Для розрахунку математичного сподівання виведена формула, що ґрунтується на формулі (3):

$$M = \frac{M(T_P) + M(T_K)}{1-b} \quad (12)$$

За таким же принципом виводяться формули для розрахунку ймовірнісних значень результуючого графа для ТФС "Робоча - контроль функціонування", що враховує 3, 4 типи помилки. Якщо потрібно врахувати n типів помилок, то

кінцевий граф містить 2^n кількість поглинаючих вершин, які зіставляються з результатами структури. Нехай є модель для контрольної та робочої операцій з різними помилками n типів. Введемо[43]:

V_m^1 - ймовірність того, що робоча операція виконана без помилки m типу;

$$m = 1, 2, \dots, n;$$

V_m^0 - ймовірність того, що робоча операція виконана з помилкою m типу;

$$m = 1, 2, \dots, n;$$

K_m^{11} – ймовірність того, що контроль визнає робочу операцію виконаною без помилки m -ого типу враховуючи, що насправді вона виконалася без помилки m -ого типу;

K_m^{10} – ймовірність того, що контроль визнає робочу операцію виконаною з помилкою m -ого типу враховуючи, що насправді вона виконалася без помилки m -ого типу;

K_m^{01} – ймовірність того, що контроль визнає робочу операцію виконаною без помилки m -ого типу враховуючи, що насправді вона виконалася з помилкою m -ого типу;

K_m^{00} – ймовірність того, що контроль визнає робочу операцію виконаною з помилкою m -ого типу враховуючи, що насправді вона виконалася з помилкою m -ого типу.

Для визначення стану, що складається з двох альтернатив, для результатів виконання контрольної та робочої операції позначимо [43]:

$x = (0,1) - 0(1)$ – робоча операція виконалася з (без) помилки;

$y = (0,1) - 0(1)$ – контроль визнав виконання робочої операції з помилкою (без помилки).

При врахуванні помилок n різних типів робоча операція може виконатися з 2^n кількістю результатів. Матриця, що представляє стан існування помилок, має розмірність $2^n \times n$. Для кожного рядка матриці ставиться у відповідність стан існування помилок для одного результату. В першому рядку ставляться нульові елементи та відповідає тому, що робоча операція виконалася з помилками n -ого типу. В другому рядку в $n-1$ колонках ставляться нульові елементи та n колонка

містить значення 1. Таким чином, матриця з X елементами будуються на основі наступного правила [43]:

$l = 1, 2, \dots, 2^n$ відповідає номеру рядка матриці. Число $l-1$, представлене в двійковій системі числення, відповідають цифрам, що стоять зліва – направо, - значення елементів l -го рядка. Кількість помилок, що вносяться, представлене n та відповідає кількості розрядів зазначеного числа.

Створимо матрицю X за цим правилом, наприклад, для $n = 2$ типів помилок з урахуванням можливості виникнення у робочій операції першої та другої помилки [43]:

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Узагальнюючи, x_{lm} , що відповідає елементу матриці, є станом існування помилки, яка має номер m та результат 1, що відповідає результату робочої операції. Тут: $m = 1, 2, \dots, n, l = 1, 2, \dots, 2^n$.

За таким же принципом створюється матриця Y з розмірністю $2^n \times n$, що представляє результат визнання контролем того, як виконалася робоча операція. n відповідає кількості помилок, що контролюються, а 2^n – кількості результатів для робочої операції з одним результатом. Матриця Y заповнюється відповідно до правила, що представлено вище. Узагальнюючи, y_{km} , що відповідає елементу матриці, є станом визнання контролем помилки, яка має номер m та результат k , що відповідає результату контролю. Тут: $m = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, 2^n$. [43]

У результаті отримаємо наступні визначення результатів для контрольної та робочої операції:

$V_m^{x_{lm}}$ – ймовірність того, що робоча операція виконалася з помилкою m типу для результату 1;

$V_m^{x_{lm}y_{km}}$ - ймовірність того, що контроль визнає робочу операцію з помилкою m типу для результату 1, k відповідає результату контролю.

Позначимо набір помилок різного типу для виведення формул, за якими можна розрахувати імовірнісні значення для ТФС "Робоча з контролем функціонування", в якій враховуються помилки n типів [43]:

$Q^1 = \{q_1^1, q_2^1, \dots, q_{n1}^1\}$ - набір типів для помилок, при яких ТФС виконана без помилок;

$Q^0 = \{q_1^0, q_2^0, \dots, q_{n1}^0\}$ - набір типів для помилок, при яких ТФС виконана з помилками;

$n1 + n0 = n$ - кількість типів, що відповідає помилкам.

Таким чином, використовуючи Н-функції, отримаємо формули для розрахунку ймовірності виконання типової функціональної для помилок $q_1^1, q_2^1, \dots, q_{n1}^1$ типів:

$$V_{\{q_1^1, q_2^1, \dots, q_{n1}^1\}} = \left(\prod_{m1 \in Q^1} B_{m1}^1 K_{m1}^{11} \right) \left(\prod_{m0 \in Q^0} B_{m0}^0 K_{m0}^{01} \right) \frac{1}{1-b}, \quad (13)$$

тут b розраховується:

$$b = \sum_{l=1}^{2^n} \left(\prod_{m=1}^n B_m^{x_{lm}} \times \left(\sum_{k=1}^{2^n} \prod_{m=1}^n K_m^{x_{lm} y_{km}} \right) \right), \quad (14)$$

тут $\bigcap_{m=1}^n (y_{km} = 1) = \emptyset$ для усіх k

Виведемо формулу для розрахунку імовірність виконання без помилок:

$$V = \left(\prod_{m=1}^n B_m^1 K_m^{11} \right) \frac{1}{1-b} \quad (15)$$

Для визначення математичного очікування використовується формула (12), де b розраховується за допомогою формули (14).

3.3.2. Створення математичних моделей для типової функціональної структури «Послідовне виконання робочих операцій»

Для імовірнісного графа ТФС «Послідовне виконання робочих операцій» (рис. 3.9) були розроблені наступні Н-функції [43]:

$$\begin{aligned}
 H_{56} &= B^1_{11}L[F_{p1}(t)] * B^1_{12}L[F_{p1}(t)], & H_{57} &= B^1_{11}L[F_{p1}(t)] * B^0_{12}L[F_{p1}(t)], \\
 H_{58} &= B^0_{11}L[F_{p1}(t)] * B^1_{12}L[F_{p1}(t)], & H_{59} &= B^0_{11}L[F_{p1}(t)] * B^0_{12}L[F_{p1}(t)], \\
 H_{61} &= B^1_{21}L[F_{p2}(t)] * B^1_{22}L[F_{p2}(t)], & H_{62} &= B^1_{21}L[F_{p2}(t)] * B^0_{22}L[F_{p2}(t)], \\
 H_{63} &= B^0_{21}L[F_{p2}(t)] * B^1_{22}L[F_{p2}(t)], & H_{64} &= B^0_{21}L[F_{p2}(t)] * B^0_{22}L[F_{p2}(t)], \\
 H_{72} &= H_{61}, & H_{74} &= H_{63}, & H_{83} &= H_{61}, & H_{84} &= H_{62}, & H_{94} &= H_{61}
 \end{aligned}$$

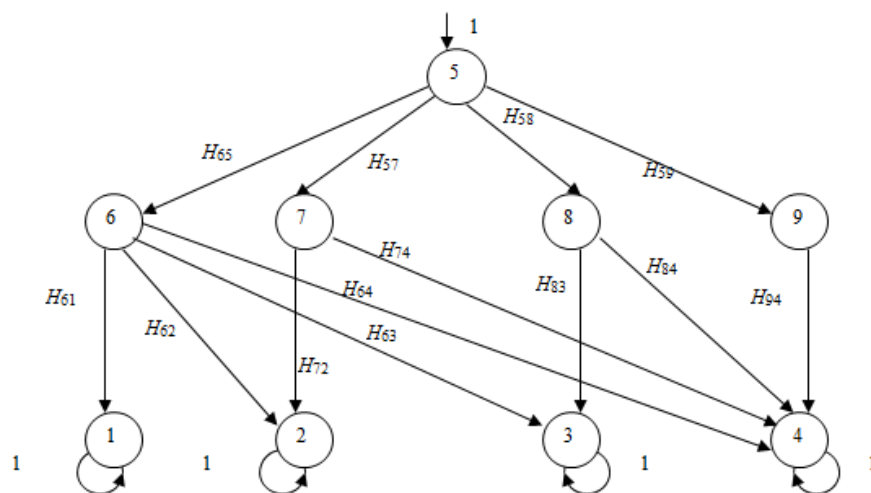


Рисунок 3.9 - Ймовірнісний граф «Послідовне виконання робочих операцій»

Для зменшення розмірності графа об'єднаємо послідовні дуги: (6,5) та (2,6); (6,5) і (6,1); (5,6) і (4,6); (5,6) і (6,3); (7,4) та (5,7); (5,7) та (7,2); (5,8) і (8,4); (5,8) та (8,3); (9,4) та (5,9). В результаті отримаємо перетворений граф (рис. 3.10), для якого Н-функції дуг будуть наступні [43]:

$$\begin{aligned}
H_{51} &= B^1_{11}L[F_{p1}(t)] * B^1_{12}L[F_{p1}(t)] * B^1_{21}L[F_{p2}(t)] * B^1_{22}L[F_{p2}(t)], \\
H^I_{52} &= B^1_{11}L[F_{p1}(t)] * B^1_{12}L[F_{p1}(t)] * B^1_{21}L[F_{p2}(t)] * B^0_{22}L[F_{p2}(t)], \\
H^{II}_{52} &= B^1_{11}L[F_{p1}(t)] * B^0_{12}L[F_{p1}(t)] * B^1_{21}L[F_{p2}(t)] * B^1_{22}L[F_{p2}(t)], \\
H^I_{53} &= B^1_{11}L[F_{p1}(t)] * B^1_{12}L[F_{p1}(t)] * B^0_{21}L[F_{p2}(t)] * B^1_{22}L[F_{p2}(t)], \\
H^{II}_{53} &= B^0_{11}L[F_{p1}(t)] * B^1_{12}L[F_{p1}(t)] * B^1_{21}L[F_{p2}(t)] * B^1_{22}L[F_{p2}(t)], \\
H^I_{54} &= B^1_{11}L[F_{p1}(t)] * B^1_{12}L[F_{p1}(t)] * B^0_{21}L[F_{p2}(t)] * B^0_{22}L[F_{p2}(t)], \\
H^{II}_{54} &= B^1_{11}L[F_{p1}(t)] * B^0_{12}L[F_{p1}(t)] * B^0_{21}L[F_{p2}(t)] * B^1_{22}L[F_{p2}(t)], \\
H^{III}_{54} &= B^0_{11}L[F_{p1}(t)] * B^1_{12}L[F_{p1}(t)] * B^1_{21}L[F_{p2}(t)] * B^0_{22}L[F_{p2}(t)], \\
H^{IV}_{54} &= B^0_{11}L[F_{p1}(t)] * B^0_{12}L[F_{p1}(t)] * B^1_{21}L[F_{p2}(t)] * B^1_{22}L[F_{p2}(t)],
\end{aligned}$$

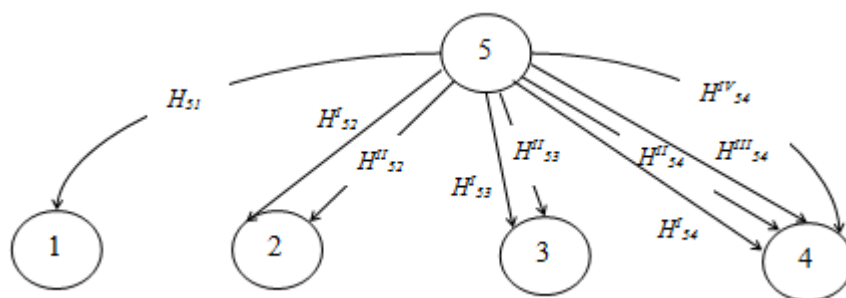


Рисунок 3.10 - Еквівалентний ймовірнісний граф після того, як вершини 6, 7, 8 і 9 були видалені

Після того, як об'єднали паралельні дуги, виведемо Н-функції:

$$\begin{aligned}
H_{52} &= H^I_{52} + H^{II}_{52} = B^1_{11}L[F_{p1}(t)] * B^1_{12}L[F_{p1}(t)] * B^1_{21}L[F_{p2}(t)] * B^0_{22}L[F_{p2}(t)] + \\
&+ B^1_{11}L[F_{p1}(t)] * B^0_{12}L[F_{p1}(t)] * B^1_{21}L[F_{p2}(t)] * B^1_{22}L[F_{p2}(t)] \\
H_{53} &= H^I_{53} + H^{II}_{53} = B^1_{11}L[F_{p1}(t)] * B^1_{12}L[F_{p1}(t)] * B^0_{21}L[F_{p2}(t)] * B^1_{22}L[F_{p2}(t)] + \\
&+ B^0_{11}L[F_{p1}(t)] * B^1_{12}L[F_{p1}(t)] * B^1_{21}L[F_{p2}(t)] * B^1_{22}L[F_{p2}(t)] \\
H_{54} &= H^I_{54} + H^{II}_{54} + H^{III}_{54} + H^{IV}_{54} = B^1_{11}L[F_{p1}(t)] * B^1_{12}L[F_{p1}(t)] * B^0_{21}L[F_{p2}(t)] * \\
&* B^0_{22}L[F_{p2}(t)] + B^1_{11}L[F_{p1}(t)] * B^0_{12}L[F_{p1}(t)] * B^0_{21}L[F_{p2}(t)] * B^1_{22}L[F_{p2}(t)] + \\
&+ B^0_{11}L[F_{p1}(t)] * B^1_{12}L[F_{p1}(t)] * B^1_{21}L[F_{p2}(t)] * B^0_{22}L[F_{p2}(t)] + B^0_{11}L[F_{p1}(t)] * \\
&* B^0_{12}L[F_{p1}(t)] * B^1_{21}L[F_{p2}(t)] * B^1_{22}L[F_{p2}(t)]
\end{aligned}$$

В остотожному результаті отримаємо граф зображений на рис. 3.11

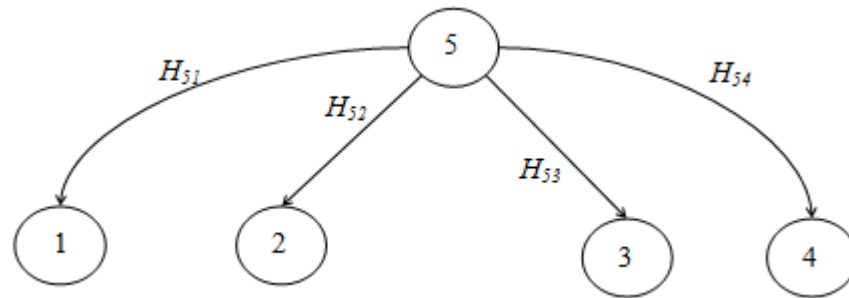


Рисунок 3.11 – Підсумковий ймовірнісний граф

Далі спростимо формули і отримаємо наступні формули для розрахунку ймовірнісних характеристик [43]:

$$H_{51} = B^{111} * B^{112} * B^{121} * B^{122};$$

тут H_{51} - імовірність виконання без помилок.

$$H_{52} = B^{111} * B^{112} * B^{121} * B^{022} + B^{111} * B^{012} * B^{121} * B^{122};$$

H_{52} – імовірність того, що ТФС виконалася з помилкою другого типу.

$$H_{53} = B^{111} * B^{112} * B^{021} * B^{122} + B^{011} * B^{112} * B^{121} * B^{122};$$

тут H_{53} - імовірність того, що ТФС виконалася з помилкою першого типу.

$$H_{54} = B^{111} * B^{112} * B^{021} * B^{022} + B^{111} * B^{012} * B^{021} * B^{122} + B^{011} * B^{112} * B^{121} * B^{022} + B^{011} * B^{012} * B^{121} * B^{122};$$

тут H_{54} – імовірність того, що ТФС виконалася з помилкою першого та другого типів.

Для розрахунку математичного сподівання виведена формула [43]:

$$M(T) = M(T_{p1}) + M(T_{p2}) .$$

3.4. Проведення комп'ютерних експериментів з математичними моделями

Спочатку проведемо комп'ютерне моделювання для ТФС «Робоча операція з контролем функціонування». Вхідні дані показані на рис. 3.12.

Імовірність виконання робочої операції без помилки		Імовірність того, що фактично правильне виконання буде визнано правильним		Імовірність того, що фактично неправильне виконання буде визнано неправильним		Мат. очікування часу виконання робочої операції	Мат. очікування часу виконання операції контролю
1-го типу	2-го типу	по 1-му типу помилки	по 2-му типу помилки	по 1-му типу помилки	по 2-му типу помилки		
B_1^1	B_2^1	K_1^{11}	K_2^{11}	K_1^{00}	K_2^{00}	$M(Tp)$	$M(Tk)$
0,93457	0,88093	0,8656	0,9294	0,7511	0,7511	3,15	3,1

Рисунок 3.12 – Вхідні дані для ТФС «Робоча з контролем функціонування»

Розраховані ймовірності безпомилкового та помилкового виконання, виконання з 1 помилкою, з 2 помилкою, з 1 та 2 помилками, а також математичне очікування часу виконання представлені на рис. 3.13.

Імовірність безпомилкового виконання	Імовірність виконання ТФС з помилкою			Математичне очікування часу виконання	Імовірність помилкового виконання
	1-го типу	2-го типу	1-го та 2-го типу		
0,946021939	0,01904469	0,034243992	0,0007	8,92705218	0,053978061

Рисунок 3.13 – Розраховані ймовірності для ТФС «Робоча операція з контролем функціонування»

Для розрахованих ймовірностей побудовані графіки (рис. 3.14).



Рисунок 3.14 – Візуалізація результатів для ТФС «Робоча операція з контролем функціонування»

Наступним кроком проведемо комп'ютерне моделювання для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій». Вхідні дані показані на рис. 3.15.

Ймовірність виконання першої робочої операції без помилки		Ймовірність виконання другої робочої операції без помилки		Мат. очікування часу виконання 1 робочої операції $M(Tp)$	Мат. очікування часу виконання 2 робочої операції $M(Tp2)$
1-го типу	2-го типу	1-го типу	2-го типу		
B_{11}^1	B_{12}^1	B_{21}^1	B_{22}^1		
0,91255	0,90781	0,8389	0,9278	3,10	3

Рисунок 3.15 – Вхідні дані для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій»

Розраховані ймовірності безпомилкового та помилкового виконання, виконання з 1 помилкою, з 2 помилкою, з 1 та 2 помилками, а також математичне очікування часу виконання представлені на рис. 3.16.

Ймовірність безпомилкового виконання	Ймовірність виконання ТФС з помилкою			Ймовірність помилкового виконання	Математичне очікування часу виконання
	1-го типу	2-го типу	1-го та 2-го типу		
0,644786884	0,18561323	0,115655799	0,0333	0,35521312	6,10

Рисунок 3.16 – Розраховані ймовірності для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій»

Для розрахованих ймовірностей побудовані графіки (рис. 3.17).

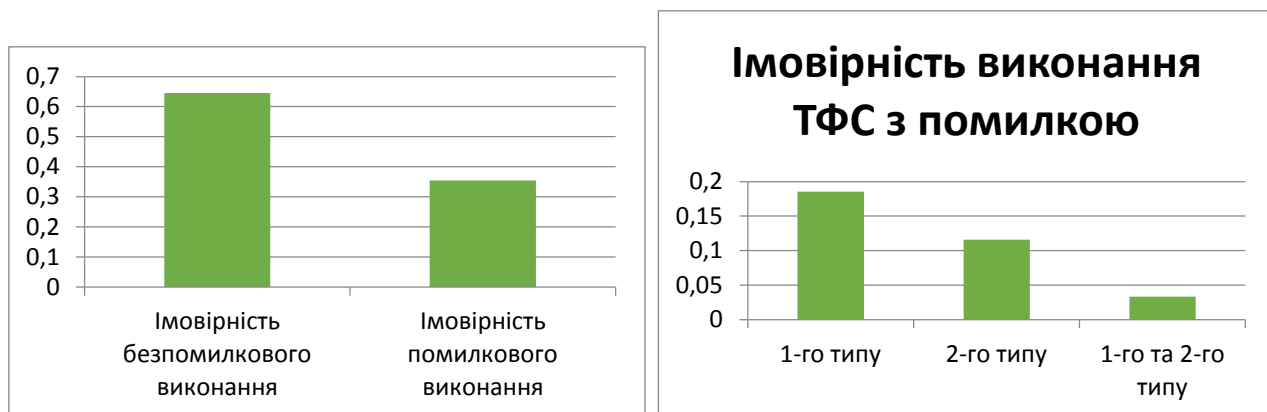


Рисунок 3.17 – Візуалізація результатів для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій»

4. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИНИКНЕННЯ І УСУНЕННЯ ПОМИЛОК ДЕКІЛЬКОХ ТИПІВ

4.1 Розробка принципів імітаційного моделювання

Для імітаційного моделювання алгоритмів функціонування, що описуються в ФСТ, розробимо набір принципів, які враховують помилки різних типів.

Принцип 1. Вхідні дані складаються з генераторів випадкових чисел від 0 до 1 для ймовірнісних характеристик кожного функціонального елемента для кожного типу помилки та константних значень (обмежувачів) відповідно.

Принцип 2. Функціональний елемент вважається виконаний безпомилково, якщо згенероване рандомне число менше, ніж відповідне константне значення. Аналогічно для інших ймовірнісних характеристик.

Принцип 3. Кількість результуючих станів імовірнісної моделі, що відповідає ТФС, залежить від кількості різних типів внесених, виявлених і усунених помилок. Для багатовимірних функціональних мереж імітаційні моделі типових функціональних структур мають $N = 2^n$ результуючих станів, де n - кількість різних типів помилок.

Спочатку створюється Simulink модель, що складається з масиву вхідних значень, рандомно згенерованих для кожної ймовірнісної характеристики, та обмежувачів для кожної характеристики. Вихідними даними є масиви, в яких зазначено чи була заявка виконана з помилкою та якою.

Для побудови Stateflow моделі розроблений наступні правила:

1. Починаємо виконувати структуру.
2. Для робочої операції перевіряємо чи вхідне значення першої помилки менше, ніж константне значення безпомилкового виконання по першій помилці. Якщо менше, вважаємо, що робоча операція виконалася без першої помилки.
3. Для робочої операції перевіряємо чи вхідне значення другої помилки

менше, ніж константне значення безпомилкового виконання по другій помилці. Якщо менше, вважаємо, що робоча операція виконалася без другої помилки.

4. Для контрольної операції перевіряємо чи вхідне значення контролю, який правильне виконання по першій/другій помилці признає правильним, менше, ніж відповідне константне значення. Якщо менше, вважаємо, що контроль правильне виконання по першій/другій помилці визнав правильним.

5. Для контрольної операції перевіряємо чи вхідне значення контролю, який неправильне виконання по першій/другій помилці признає неправильним, менше, ніж відповідне константне значення. Якщо менше, вважаємо, що контроль неправильне виконання по першій/другій помилці визнав неправильним.

6. Коли час імітації закінчився, тоді і виконання структури завершується.

4.2 Розробка імітаційних моделей для базових ТФС діяльності оператора

4.2.1. Створення імітаційних моделей для ТФС «Робоча - контроль функціонування»

Першим етапом при розробленні імітаційних моделей є створення Simulink моделі. Для ТФС «Робоча з контролем функціонування» вхідними даними є наступні значення:

- імовірності виконання робочої операції без помилки кожного з типів (генератори рандомних чисел) та відповідні константні значення;
- імовірності того, що фактично правильне виконання є визнаним правильним для кожного з типів помилки (генератори рандомних чисел) та відповідні константні значення;
- імовірності того, що фактично неправильне виконання є визнаним неправильним для кожного з типів помилки (генератори рандомних чисел) та відповідні константні значення

Вихідними даними є масиви безпомилкового виконання, виконання з першим типом помилки, з другим типом помилки, з першим та другим типом помилки. Масив складається з 0 та 1, що ставиться для кожної вхідної заявки.

Розроблена Simulink модель зображена на рис. 4.1.

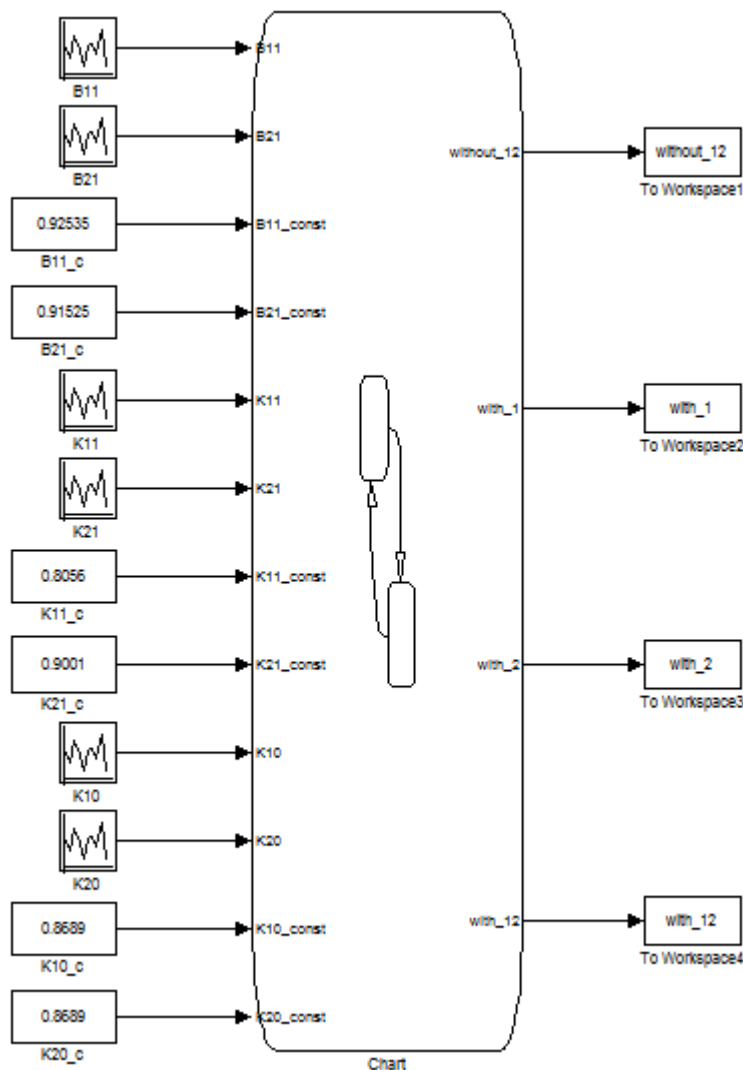


Рисунок 4.1 - Simulink модель для ТФС «Робоча з контролем функціонування»

Першим блоком в Stateflow модель є початок. Далі розглядаються варіанти виконання робочої операції, а потім контрольної. (рис. 4.2)

Якщо імовірність виконання робочої операції без 1 помилки та імовірність виконання робочої операції без 2 помилки менші ніж відповідні константні значення, то вважаємо, що структура виконана безпомилково.

Якщо імовірність виконання робочої операції без 1 помилки менша, ніж її

константне значення; а імовірність виконання робочої операції без 2 помилки більша, ніж її константне значення, то вважаємо, що робоча операція виконана з 2 помилкою. Далі в залежності від значення контрольної операції для другої помилки, вважаємо, що структура виконана з 2 помилкою, або без помилок.

Якщо імовірність виконання робочої операції без 2 помилки менша, ніж її константне значення; а імовірність виконання робочої операції без 1 помилки більша, ніж її константне значення, то вважаємо, що робоча операція виконана з 1 помилкою. Далі в залежності від значення контрольної операції для першої помилки, вважаємо, що структура виконана з 1 помилкою, або без помилок.

Якщо імовірність виконання робочої операції без 1 помилки та імовірність виконання робочої операції без 2 помилки більші ніж відповідні константні значення, то вважаємо, що робоча операція виконана з 1 та 2 помилкою. Далі в залежності від значення контрольної операції для першої помилки та окремо для другої, вважаємо, що структура виконана з 1 помилкою, з 2 помилкою, з 1 та 2 помилками або без помилок.

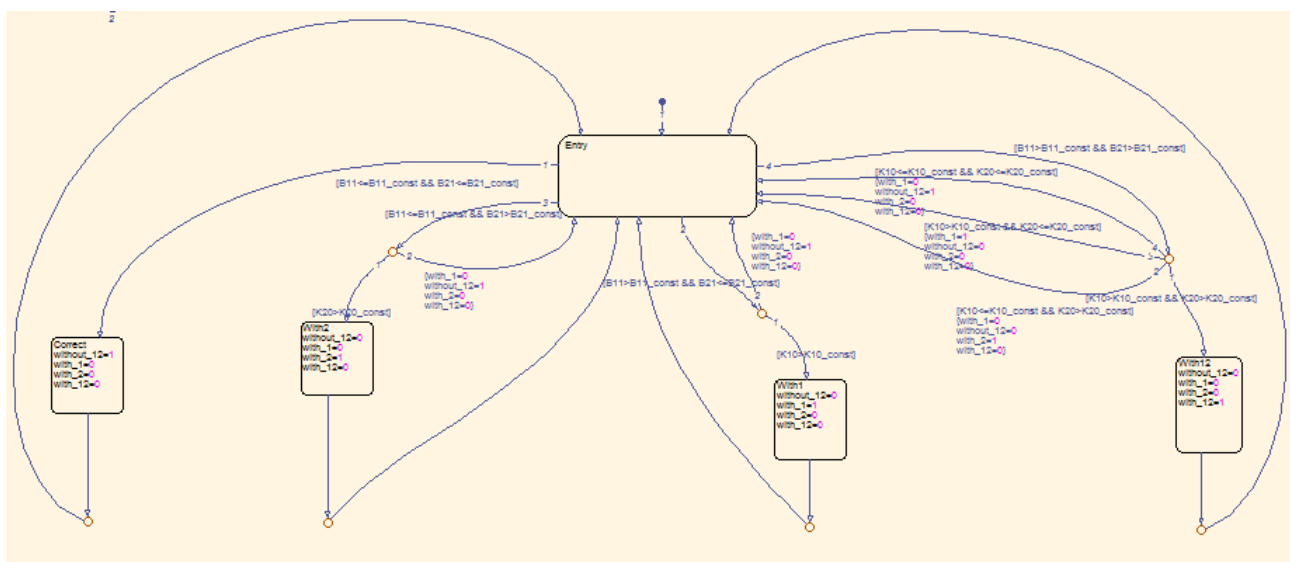


Рисунок 4.2 - Stateflow модель для ТФС «Робоча з контролем функціонування»

4.2.2. Створення імітаційних моделей для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій»

Спочатку створимо Simulink модель. Для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій» вхідними даними є наступні значення:

- імовірності виконання першої робочої операції без помилки кожного з типів (генератори рандомних чисел) та відповідні константні значення;
- імовірності виконання другої робочої операції без помилки кожного з типів (генератори рандомних чисел) та відповідні константні значення;

Вихідними даними є масиви безпомилкового виконання, виконання з першим типом помилки, з другим типом помилки, з першим та другим типом помилки. Масив складається з 0 та 1, що ставиться для кожної вхідної заявки.

Розроблена Simulink модель зображена на рис. 4.3.

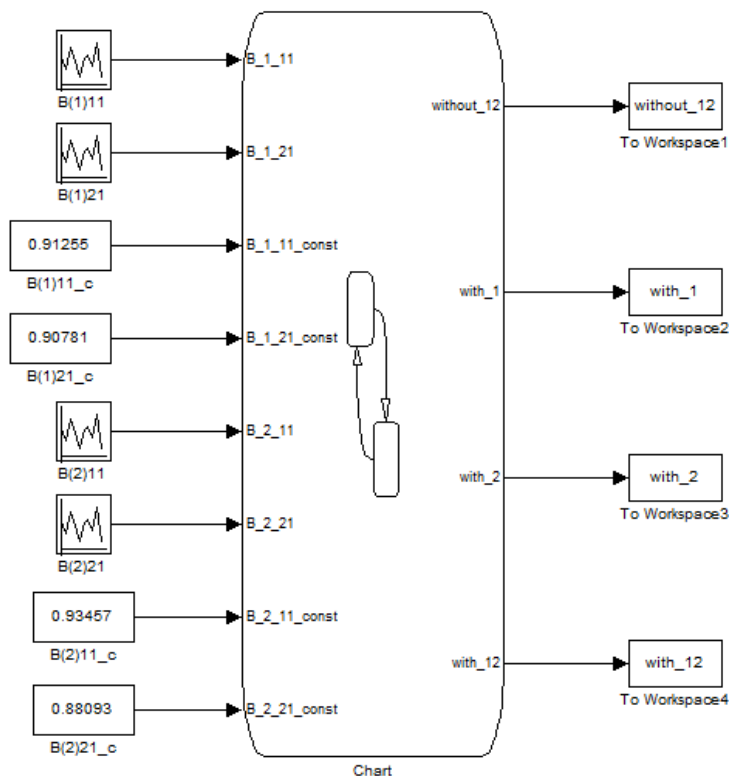


Рисунок 4.3 - Simulink модель для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій»

Першим блоком в Stateflow модель є початок. Далі розглядаються варіанти виконання першої та другої робочої операції. (рис. 4.4)

Якщо імовірність виконання першої робочої операції без 1 помилки та без 2 помилки менші, ніж відповідні константні значення, то вважаємо, що перша робоча операція виконана без помилок. Якщо імовірність виконання другої робочої операції без 1 помилки та без 2 помилки менші, ніж відповідні константні значення, то вважаємо, що структура виконана без помилок. Якщо імовірність виконання другої робочої операції без 1 помилки менша, ніж її константне значення; а імовірність виконання другої робочої операції без 2 помилки більша, ніж її константне значення, то вважаємо, що структура виконана з 2 помилкою. Якщо імовірність виконання другої робочої операції без 2 помилки менша, ніж її константне значення; а імовірність виконання другої робочої операції без 1 помилки більша, ніж її константне значення, то вважаємо, що структура виконана з 1 помилкою. В іншому випадку вважаємо, що структура виконана з 1 та 2 помилками.

Якщо імовірність виконання першої робочої операції без 1 помилки менша, ніж її константне значення; а імовірність виконання першої робочої операції без 2 помилки більша, ніж її константне значення, то вважаємо, що перша робоча операція виконана з 2 помилкою. Якщо імовірність виконання другої робочої операції без 1 помилки більша, ніж її константне значення, то вважаємо, що структура виконана з 1 та 2 помилками. В іншому випадку вважаємо, що структура виконана з 2 помилкою.

Якщо імовірність виконання першої робочої операції без 2 помилки менша, ніж її константне значення; а імовірність виконання першої робочої операції без 1 помилки більша, ніж її константне значення, то вважаємо, що перша робоча операція виконана з 1 помилкою. Якщо імовірність виконання другої робочої операції без 2 помилки більша, ніж її константне значення, то вважаємо, що структура виконана з 1 та 2 помилками. В іншому випадку вважаємо, що структура виконана з 1 помилкою.

Якщо імовірність виконання першої робочої операції без 1 помилки та

імовірність виконання першої робочої операції без 2 помилки більші, ніж відповідні константні значення, то вважаємо, що структура виконана з 1 та 2 помилками.

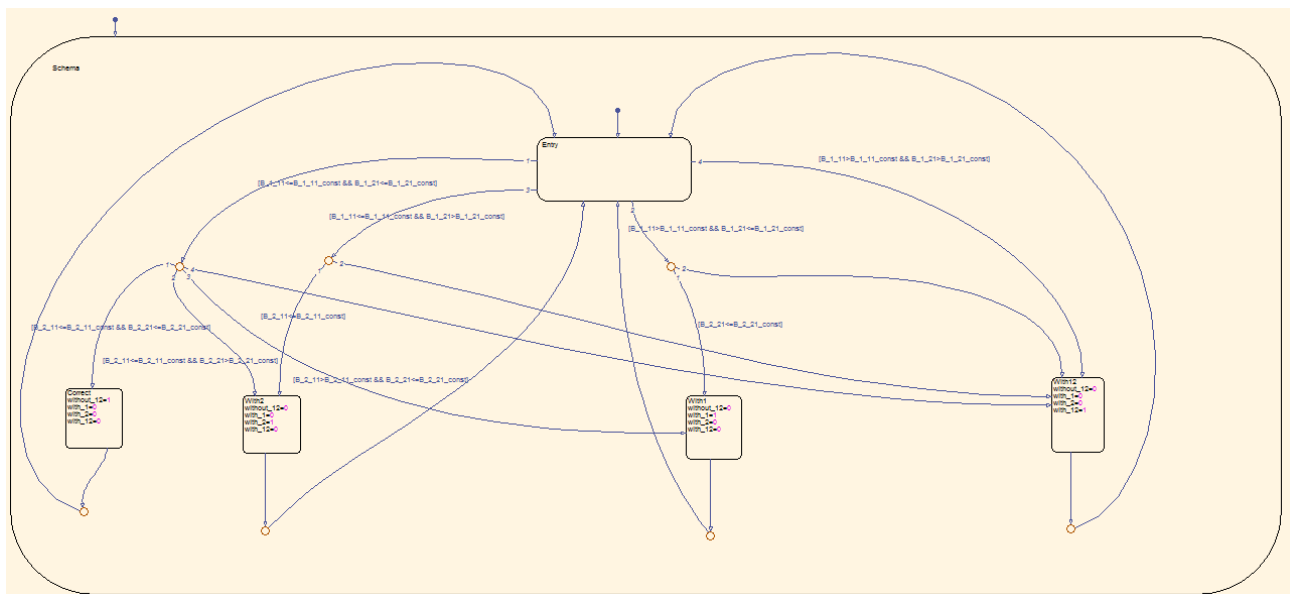


Рисунок 4.4 - Stateflow модель для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій»

4.3 Розробка моделей для оцінки показників діяльності оператора за результатами імітаційного моделювання

Для кожної заявки, що надходить, генеруються випадкові значення ймовірностей від 0 до 1 для кожної функціональної одиниці.

Для цього використовується блок Random Source, який дозволяє вивести випадковий сигнал з рівномірним або гауссовим (нормальним) розподілом, встановити вихідну повторюваність: неповторюваний (блок випадково вибирає початковий «seed» при кожному запуску моделювання), повторюваний (блок випадково вибирає початковий «seed» один раз і використовує його кожного разу, коли починається моделювання), або вказати «seed» (блок використовує вказаний

початковий «seed» при кожному запуску моделювання, створюючи повторювані вихід). Блок дозволяє вказати час (Sample Time), через який будуть надходити заявки.

Вихідними даними є 4 масиви: виконання заявки без помилок, виконання заявки з 1 типом помилки, виконання заявки з 2 типом помилки, виконання заявки з 1 та 2 типом помилки. В кожному масиві ставиться 0 або 1 для кожної заявки відповідно до результату виконання структури. Нульову заявку до уваги не беремо, тому що вона показує початок виконання структури. Щоб розрахувати ймовірності для кожного виконання необхідно порахувати кількість 1 в кожному масиві та поділити на кількість заявок:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^N mas_i}{N}$$

де B – розрахована ймовірність виконання;

N – кількість заявок, що надійшла у систему;

mas_i – елемент масиву.

4.4 Проведення комп'ютерних експериментів з імітаційними моделями

Спочатку проведемо імітаційне моделювання для ТФС «Робоча з контролем функціонування». Simulink модель з вхідними даними показана на рис. 4.5.

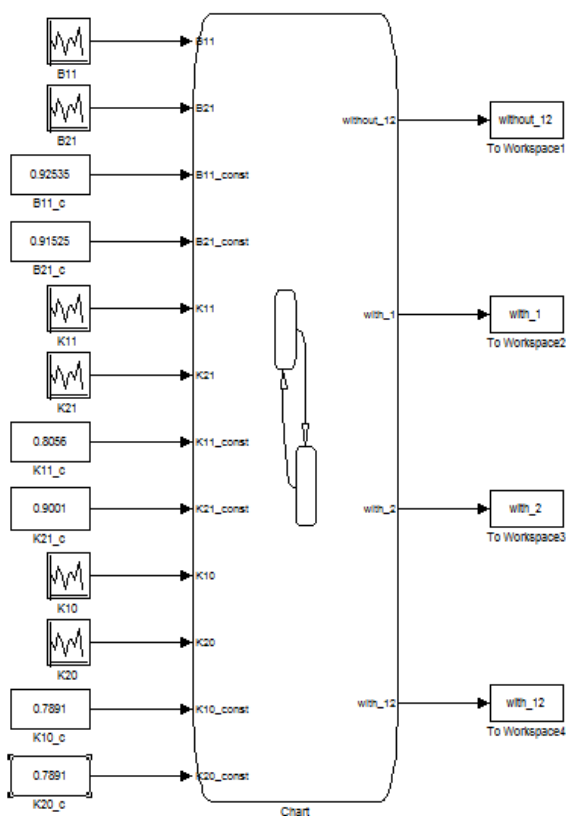


Рисунок 4.5 – Вхідні дані для ТФС «Робоча з контролем функціонування»

Після проведення імітації за допомогою Stateflow побудуємо графіки для отриманих ймовірностей. (рис. 4.6)

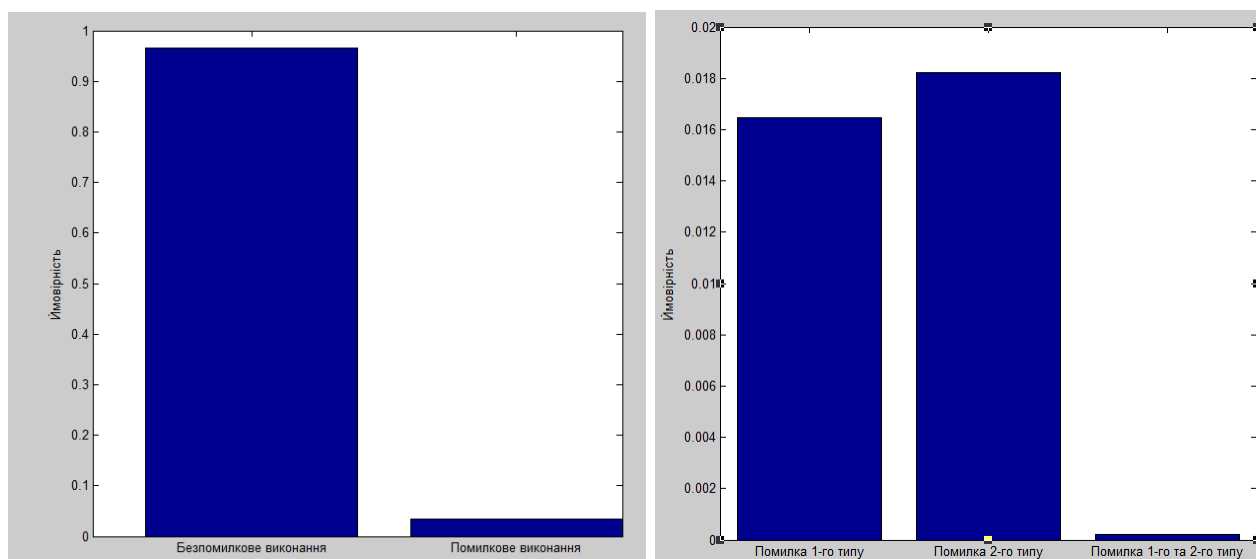


Рисунок 4.6 – Візуалізація результатів імітаційної моделі для ТФС «Робоча з контролем функціонування»

Наступним кроком проведемо імітаційне моделювання для типової функціональної структури «Послідовне виконання робочих операцій». Simulink модель з вхідними даними показана на рис. 4.7.

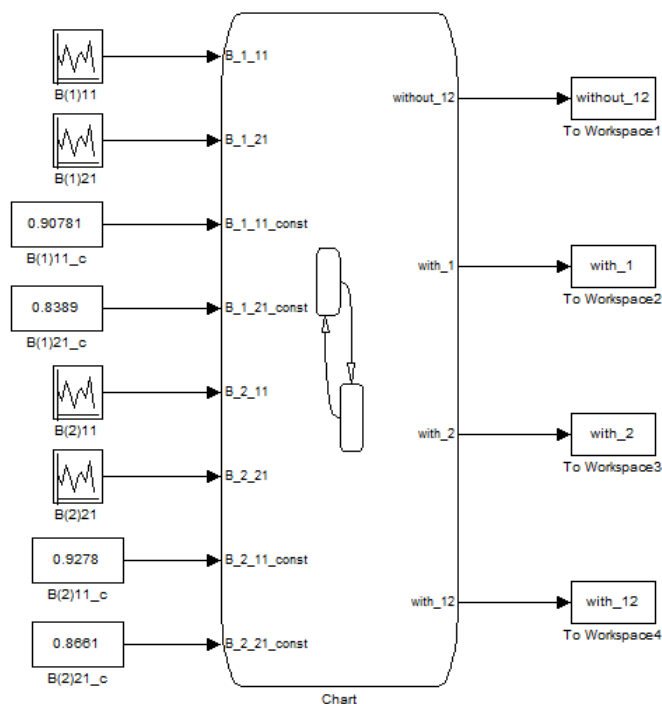


Рисунок 4.7 – Вхідні дані для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій»

Після проведення імітації за допомогою Stateflow побудуємо графіки для отриманих ймовірностей. (рис. 4.8)

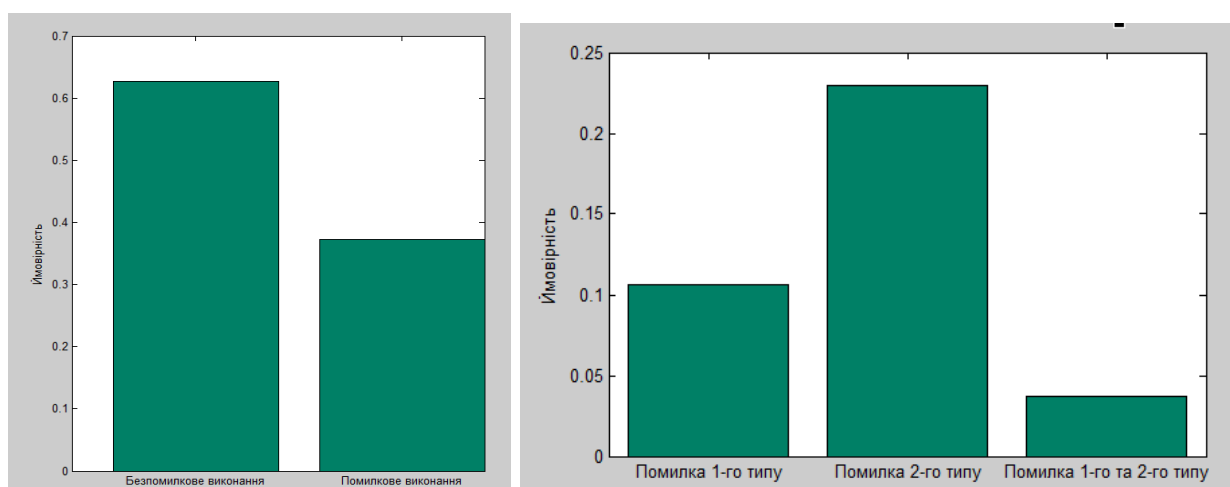


Рисунок 4.8 – Візуалізація результатів імітаційної моделі для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій»

5. АНАЛІЗ ДОСТОВІРНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ АНАЛІТИЧНОЇ ТА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСІВ ВИНИКНЕННЯ І УСУНЕННЯ ПОМИЛОК РІЗНИХ ТИПІВ

5.1 Проведення експериментальних досліджень для ТФС «Робоча - контроль функціонування»

Для порівняння аналітичної та імітаційної моделей ТФС «Робоча операція з контролем функціонування» задамо вхідні значення (рис. 5.1) та використаємо їх для отримання ймовірностей за формулами для математичної моделі та як обмежувачі в імітаційній.

Імовірність виконання робочої операції без помилки		Імовірність того, що фактично правильне виконання буде визнано правильним		Імовірність того, що фактично неправильне виконання буде визнано неправильним	
		по 1-му типу помилки	по 2-му типу помилки	по 1-му типу помилки	по 2-му типу помилки
1-го типу	2-го типу	K_1^{11}	K_2^{11}	K_1^{00}	K_2^{00}
B_1^1	B_2^1	0,8056	0,9001	0,8689	0,8689
0,92535	0,91525				

Рисунок 5.1 – Вхідні дані для ТФС «Робоча операція з контролем функціонування»

Розраховані ймовірності безпомилкового виконання, виконання з 1 типом помилки та виконання з 2 типом помилки аналітичної та імітаційної моделі ТФС «Робоча операція з контролем функціонування» зобразимо на графіках та порівняємо (рис. 5.2 – 5.4). Для імітаційної моделі подивимось як кількість заявок впливає на точність імітаційної моделі.

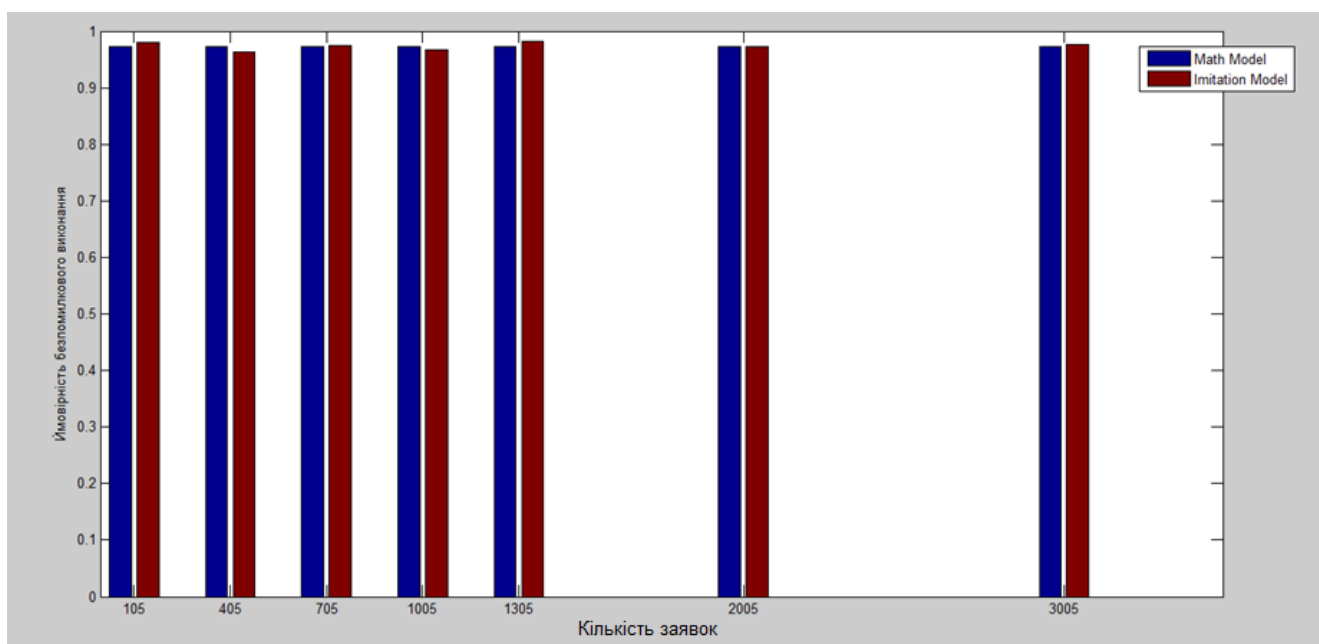


Рисунок 5.2 – Порівняння значення ймовірності безпомилкового виконання аналітичної та імітаційної моделей для ТФС «Робоча операція з контролем функціонування»

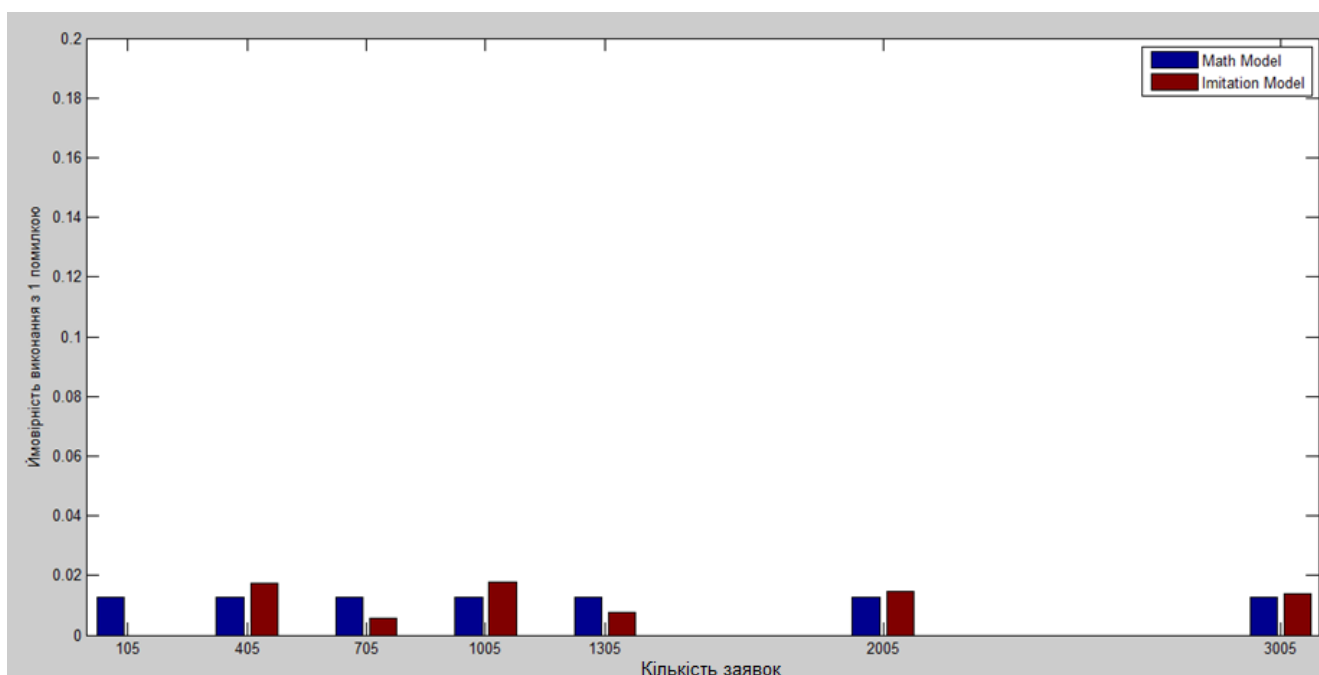


Рисунок 5.3 – Порівняння значення ймовірності виконання з 1 типом помилки аналітичної та імітаційної моделей для ТФС «Робоча операція з контролем функціонування»

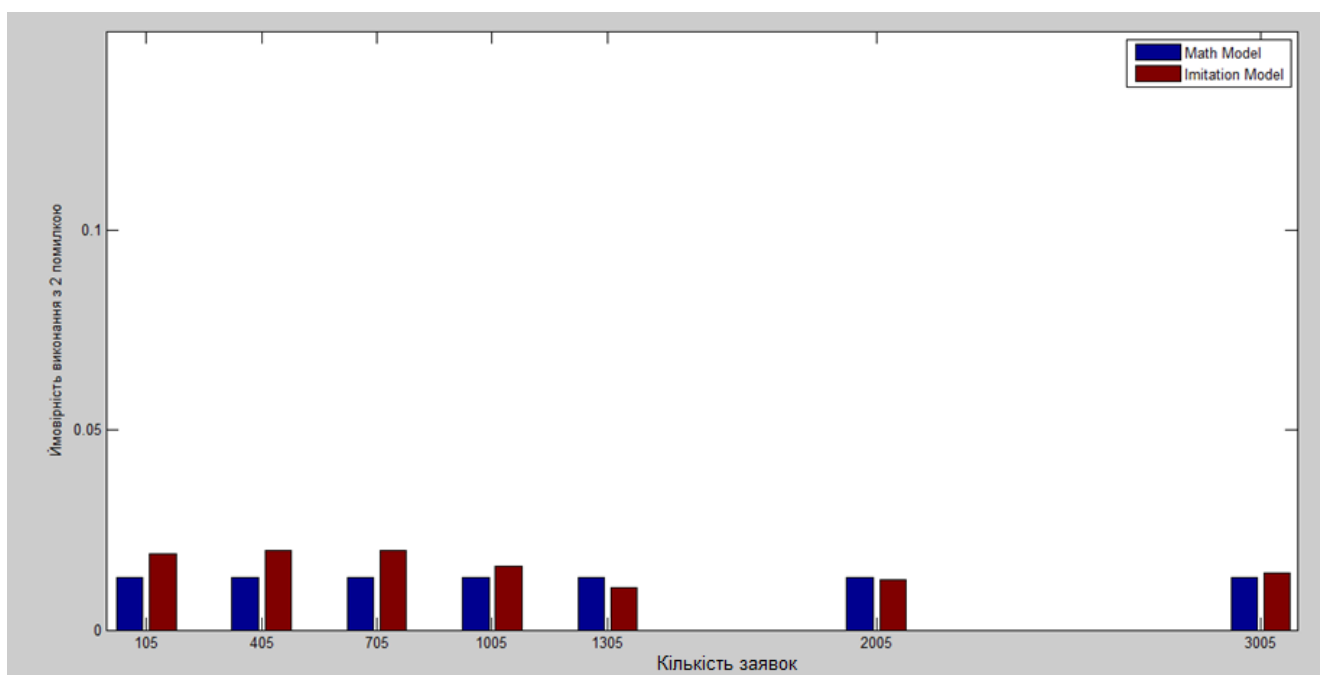


Рисунок 5.4 – Порівняння значення ймовірності виконання з 2 типом помилки аналітичної та імітаційної моделей для ТФС «Робоча операція з контролем функціонування»

Аналізуючи графіки, можна зробити висновок, що результати імітаційного моделювання точніше, тобто більш співпадають з результатами аналітичного моделювання, зі збільшенням кількості заявок.

5.2 Проведення експериментальних досліджень для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій»

Для порівняння аналітичної та імітаційної моделей ТФС «Послідовне виконання робочих операцій» задамо вхідні значення (рис. 5.5) та використаємо їх для отримання ймовірностей за формулами для математичної моделі та як обмежувачі в імітаційній.

Імовірність виконання першої робочої операції без помилки		Імовірність виконання другої робочої операції без помилки	
1-го типу	2-го типу	1-го типу	2-го типу
B_{11}^1	B_{12}^1	B_{21}^1	B_{22}^1
0,91255	0,90781	0,93457	0,88093

Рисунок 5.5 – Вхідні дані для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій»

Розраховані ймовірності безпомилкового виконання, виконання з 1 типом помилки та виконання з 2 типом помилки аналітичної та імітаційної моделі ТФС «Послідовне виконання робочих операцій» зобразимо на графіках та порівняємо (рис. 5.6 – 5.9). Для імітаційної моделі подивимось як кількість заявок впливає на точність імітаційної моделі.

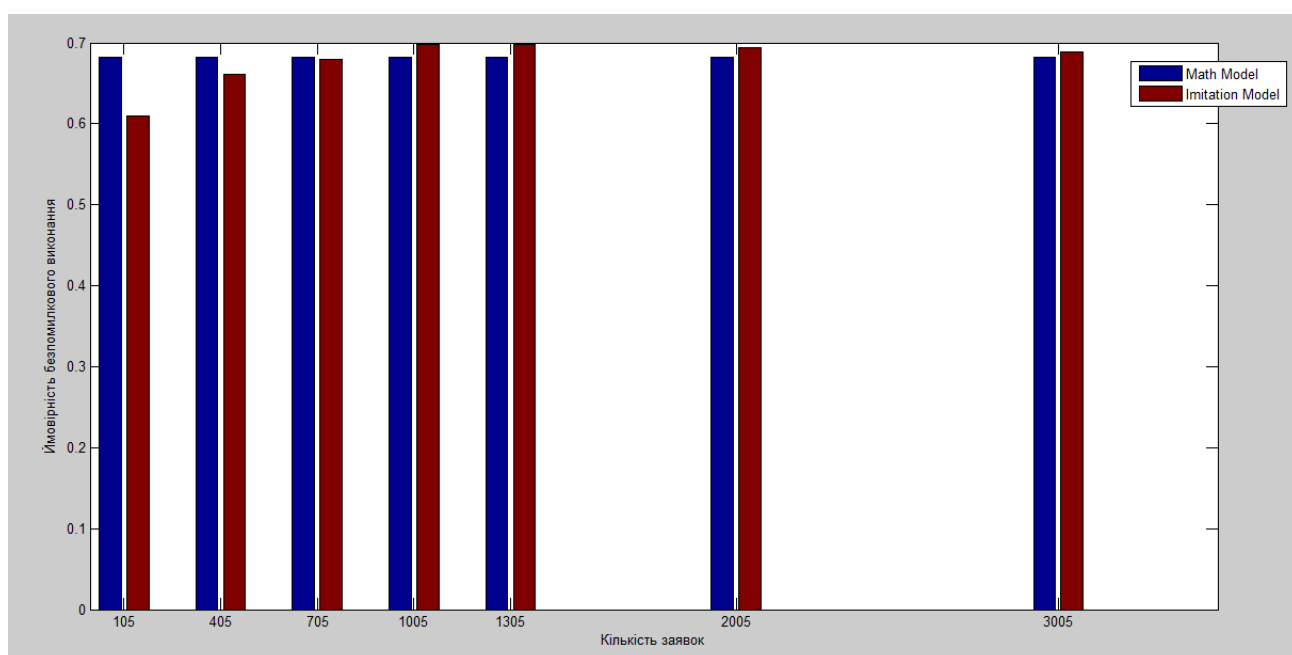


Рисунок 5.6 – Порівняння значення ймовірності безпомилкового виконання аналітичної та імітаційної моделей для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій»

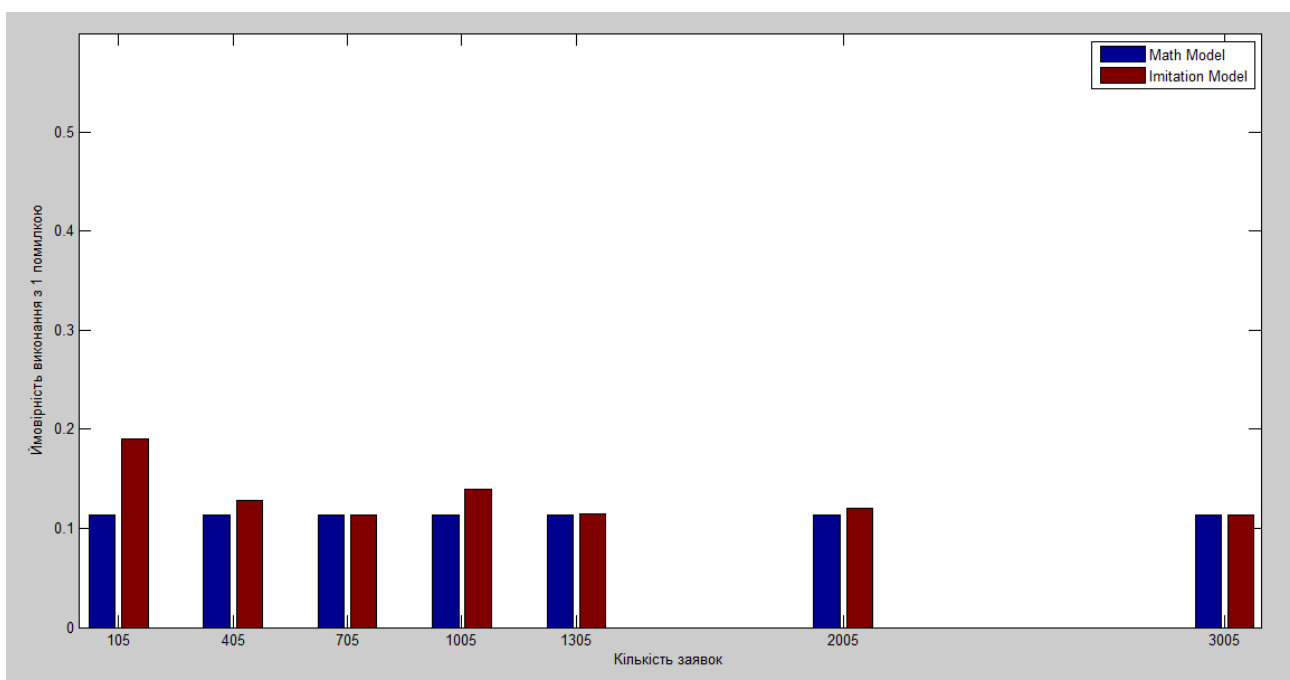


Рисунок 5.7 – Порівняння значення ймовірності виконання з 1 типом помилки аналітичної та імітаційної моделей для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій»

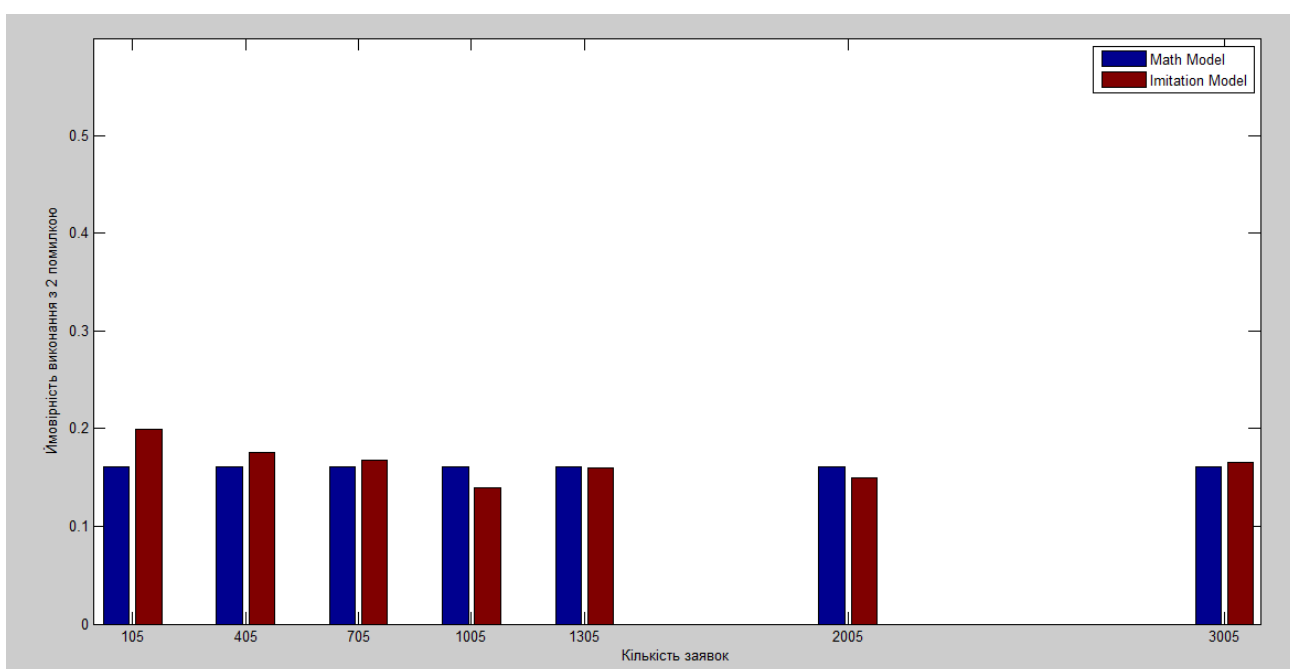


Рисунок 5.8 – Порівняння значення ймовірності виконання з 2 типом помилки аналітичної та імітаційної моделей для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій»

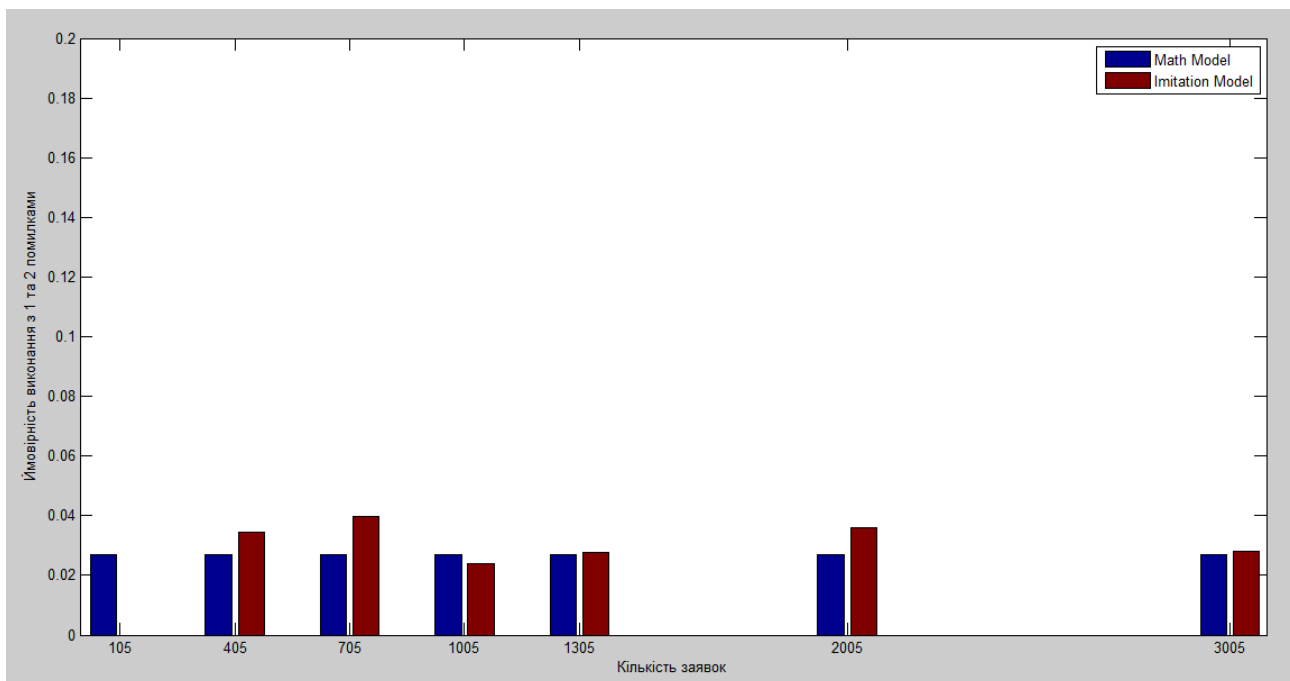


Рисунок 5.9 – Порівняння значення ймовірності виконання з 1 та 2 типом помилками аналітичної та імітаційної моделей для ТФС «Послідовне виконання робочих операцій»

Аналізуючи графіки, можна зробити висновок, що результати імітаційного моделювання точніше, тобто більш співпадають з результатами аналітичного моделювання, зі збільшенням кількості заявок.

ВИСНОВКИ

Людино-машинні системи можуть бути змодельовані правильно тільки при врахування помилок декількох типів, так як різні помилки мають різні наслідки. Типові моделі використовуються для оптимізації та автоматизації оцінення безпомилкової роботи. Застосований метод професора Губинського А.І, що дозволяє зменшити розмірність графа.

Розроблено математичні та імітаційні моделі для моделювання надійності людино-машинної взаємодії з урахуванням можливості усунення та виникнення помилок різних типів.

Розроблений метод виведення математичних залежностей дозволяє формувати бібліотеку моделей, які можна використовувати при проектуванні критичних відповідальних систем. Аналітичні моделі можуть бути складними для виведення. А імітаційні моделі дозволяють:

- отримати результат шляхом нескладного процесу побудови графу розвитку і усунення помилки;
- перепроверити результати аналітичного моделювання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Burov, O., Lavrov, E., Lytvynova, S., Pasko, N. (2021). Degradation Cognitive Performance in School High Students as the Response to the Changes Psychophysiological. In *Advances in Systems Intelligent and Computing* (Vol. 1201 AISC, pp. 83–88). Springer.
2. Lavrov, E., Siryk, O., & Chabanenko, P. (2020). A method to ensure the effectiveness and attractiveness of e-learning. Human-oriented systemic ergonomic approach. In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 2732, pp. 572–582). CEUR-WS.
3. Burkov, E. A., Paderno, P. I., Siryk, O. E., Lavrov, E. A., & Pasko, N. B. (2020). Analysis of Impact of Marginal Expert Assessments on Integrated Expert Assessment. In *Proceedings of 2020 23rd International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2020* (pp. 14–17). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
4. Lavrov, E., Pasko, N., Siryk, O., Mukoseev, V., & Dubovyk, S. (2020). Automation of assessment reliability of elements functional of automated flexible production based on network functional methodology. In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 2740, pp. 357–364). CEUR-WS.
5. Burov, O., Lytvynova, S., Lavrov, E. (2020). Cybersecurity in educational networks. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 1131 AISC, pp. 359–364). Springer.
6. Lavrov, E., Pasko, N., Siryk, O., Burov, O., & Osadchyi, V. (2020). Ergonomics of the cyberspace. modeling mathematical to create operators groups for timely and error-free functions implementation in a control system distributed. In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 2740, pp. 380–385). CEUR-WS.
7. Lavrov, E., Paderno, P., Burkov, E., Volosiuk, A., & Lung, V. D. (2020). Expert assessment systems to support decision-making for sustainable development of

- complex technological and socioeconomic facilities. In E3S Web of Conferences (Vol. 166). EDP Sciences.
8. Pinchuk, O., Sokolyuk, O., Burov, O., Lavrov, E., Shevchenko, S., & Aksakovska, V. (2020). Evaluation of the solar impact and ICT for training on aviation safety. In CEUR Workshop Proceedings (Vol. 2732, pp. 786–792). CEUR-WS.
 9. Lavrov, E., Pasko, N., & Siryk, O. (2020). Information technology for assessing the operators working environment as an element of the ensuring automated systems ergonomics and reliability. In Proceedings - 15th Conference International on Trends Advanced in Telecommunications, Radioelectronics and Computer Engineering, 2020 TCSET (pp. 570–575). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
 10. Lavrov, E. A., Paderno, P. I., Burkov, E. A., Siryk, O. E., & Pasko, N. B. (2020). Information Technology for Modeling Human-machine Control Systems and Approach to Integration of Mathematical Models for Its Improvement. In 2020 Proceedings of 23rd Conference International on Computing Soft and Measurements, 2020 SCM (pp. 117–120). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
 11. Lavrov, E., Pasko, N., Siryk, O., Burov, O., & Natalia, M. (2020). Mathematical Models for Reducing Functional Networks to Ensure the Reliability and Cybersecurity of Ergatic Control Systems. In Proceedings - International 15th Conference on Trends Advanced in Telecommunications, Radioelectronics and Engineering Computer, 2020 TCSET (pp. 179–184). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
 12. Burov, O., Lavrov, E., Pasko, N., Hlazunova, O., Lavrova, O., Kyzenko, V., & Dolgikh, Y. (2020). Self-adjusted data-driven system for prediction of human performance. In Advances in Intelligent Systems and Computing (Vol. 1131 AISC, pp. 282–287). Springer.
 13. Lavrov, E., Pasko, N., Siryk, O., Kisel, N., & Sedova, N. (2020). The method of teaching IT students computer analysis of ergonomic reserves of the effectiveness

- of automated control systems. In E3S Web of Conferences (Vol. 166). EDP Sciences.
14. Lavrov, E., Lavrova, O., Pasko, N., Kyzenko, V., & Savina, N. (2019). Reliability assessment of a operator human in systems access to information resources. In 2019 IEEE Scientific-Practical Conference International: Problems of Science Infocommunications and Technology, PIC S and T 2019 - Proceedings (pp. 51–56). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
 15. Lavrov, E. A., Paderno, P. I., Volosiuk, A. A., Pasko, N. B., & Kyzenko, V. I. (2019). Functional Automation of Evaluation Reliability for Human-Machine Critical Systems Control. In Proceedings of 2019 3rd Conference International on Control in Systems Technical, CTS 2019 (pp. 144–147). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
 16. Lavrov, E. A., Paderno, P. I., Volosiuk, A. A., Pasko, N. B., & Kyzenko, V. I. (2019). Support Decision Method for Ergonomic Ensuring Quality in IT Polyergatic Resource Centers Management. In Proceedings of 2019 3rd International Conference on Control in Technical Systems, CTS 2019 (pp. 148–151). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
 17. Lavrov, E., Kozhevnykov, G., Pasko, N., Gonchar, V., & Mukoseev, V. (2019). Improvement for Ergonomic Quality of Man-Machine Interaction in Automated based Systems on the Model Optimization. In 2018 International Conference Scientific-Practical on Problems of Science Infocommunications and Technology, PIC S and T 2018 - Proceedings (pp. 735–740). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
 18. Lavrov, E., & Lavrova, O. (2019). Adaptation intelligent method for interaction human-machine in E-learning modular systems. In CEUR Workshop Proceedings (Vol. 2393, pp. 1000–1010). CEUR-WS.
 19. Lavrov, E., Pasko, N., & Borovyk, V. (2019). Management for the Operators Activity in the Polyergatic System. Method of Functions Distribution on Basis of Reliability Model of System States. In 2018 International Scientific-Practical Conference on Infocommunications Problems of Science and Technology, PIC S

- and Proceedings - T 2018 (pp. 423–428). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
20. Lavrov, E., Pasko, N., Lavrova, O., & Savina, N. (2019). Models for the Man-Machine Description of Interaction for the Computer-Aided Tasks of Assessment of the Automated Systems Reliability. In 2019 3rd International Advanced Conference on Communications and Information Technologies, AICT 2019 - Proceedings (pp. 176–181). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
 21. Lavrov, E., Barchenok, N., Lavrova, O., & Savina, N. (2019). Models of the “human-computer” dialogue for support ergonomic of e-learning. In 2019 3rd Conference International on Information Advanced and Technologies Communications, AICT 2019 - Proceedings (pp. 187–190). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
 22. Lavrov, E., & Pasko, N. (2018). Assessing automation of the reliability of activities operator in centers contact that provide access to resources information. In CEUR Workshop Proceedings (Vol. 2105, pp. 445–448). CEUR-WS.
 23. Lavrov, E. A., Volosiuk, A. A., Pasko, N. B., Gonchar, V. P., & Kozhevnikov, G. K. (2018). Simulation Computer of Human-Machine Discrete Interaction for Reliability Providing and Critical Systems Cybersecurity . In Proceedings of the 3rd Conference International Ergo-2018: Factors Human in Environments and Technical Complex Systems, Ergo 2018 (pp. 67–70). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
 24. Lavrov, E., & Pasko, N. (2018). Models Development for Systems Computer of Information Processing and Tasks Control of Improvements Ergonomic. In Communications in Information and Computer Science (Vol. 920, pp. 98–109). Springer Verlag.
 25. Lavrov, E. A., Pasko, N. B., & Snytyuk, V. E. (2018). Technology Information for Functions Distribution between Operators as a Improving Means the Polyergatic Systems Reliability. In Proceedings of the 3rd Conference International Ergo-2018: Factors Human in Technical Complex Systems and

- Environments, Ergo 2018 (pp. 71–76). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
26. Khramova, L. N., Tsakhaeva, A. A., Posokhova, A. V., Lavrov, E. A., Litvishkov, V. M., & Vilкова, A. V. (2018). Modern managers training in the context of competence approach. *Journal of Social Sciences Research*, 2018(Special Issue 5), 194–199.
 27. Lavrov, E., & Pasko, N. (2018). Optimization of the activity of operators of critical systems by methods of regulating operational tension. In *CEUR Workshop Proceedings (Vol. 2105, pp. 227–234)*. CEUR-WS.
 28. Tolbatov, A., Lavrov, E., Pasko, N., & Tolbatov, V. (2017). Distributed cybersecurity of systems information. The damage minimization caused by operators errors during activity group. In *2nd Conference International on Information Advanced and Technologies Communication, AICT 2017 - Proceedings (pp. 83–87)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
 29. Lavrov, E., Pasko, N., Tolbatov, A & Barchenko, N.. (2017). Adaptation development of man-operator technologies in E-learning distributed systems. In *2nd Conference International on Information Advanced and Technologies Communication, AICT 2017 - Proceedings (pp. 88–91)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
 30. Lavrov, E., ., Pasko, N., Barchenko, N& Borozenec, I. (2017). Models development for the description formalized of e-learning modular systems for the problems on ergonomic providing quality of interaction humancomputer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(2–86), 4–13.
 31. Lavrov, E., Krivodub, A., Pasko, N., Kontsevich, V & Barchenko, N.. (2016). Outsourcing Ergonomics of IT. Mathematical development of a model to functions distribute among operators. *Journal Eastern-European of Technologies Enterprise*, 2(4), 32–42.
 32. P. I. Paderno, N. A. Nazarenko, and I. G. Gorodetsky, " Ergonomists training of (retraining and preparation)," in *Proceedings of the International Third*

- Conference Ergo-2018: Factors Human in Technical Complex Systems and Environments (Ergo-2018), Saint Petersburg, Russia, 2018, pp. 77–81.
33. S. F. Sergeev and V. S. Martina, " Psychological and Engineering problems of interfaces multidimensional," in Proceedings of the Third Conference International Ergo-2018: Factors Human in Technical Complex Systems and Environments (Ergo-2018), Saint Petersburg, Russia, 2018, pp. 94–96.
 34. Sviridyuk, A. V, A. V. Bogomolov, G. A.. Keller, V. M. D. Alekhin and N. Zinkin, " Modeling information-logical of collection information and processing at evaluation of the reliability functional of the ergate aviation control operator system," in Proceedings of the Third Conference International Ergo-2018: Factors Human in Technical Complex Systems and Environments (Ergo-2018), Saint Petersburg, Russia, 2018, pp. 106–110.
 35. A.N. Anokhin, S. F. Sergeev, A.A. Oboznov, P. I. Paderno, "II Scientific-practical international conference "Ergo 2016: Factor Human in technical complex systems and environments," *Psikhologicheskii Zhurnal*, vol. 38, no.1, pp. 136–138, 2017.
 36. Губинский А.И. Рачество функционирования и уадежность эргатических систем. Л.: Наука, 1982. - 270с.
 37. P. I. Paderno, C. F. Sergeev, A. N. Anokhin, "Scientific International conference "Labour Psychology of ergonomics-2014 and engineering psychology," *Psikhologicheskii zhurnal*, vol. 36(2), pp. 128-131, 2015.
 38. Суходольский Г.В. Синтез профессиональной деятельности и и нженерно психологический анализ. – Автореф. дисс. На соиск. ученой степени докт. психол. наук. – Л.: 1982. – 40 с.
 39. Клыков Ю.И. Управление ситуационное системами большими. М.:Энергия, 1974. – 136 с.
 40. Барченко Н.Л., Лавров Е.А. Модели математические деятельности человека-оператора для качества управления в производственных дискретных системах // Технології сучасні в виробництві промисловому: матеріали Міжвузівської Всеукраїнської конференції науково-технічної (Суми, 19-23 квітня 2010 року). Суми: СумДУ, 2010. С 76-77.

41. Барченко Н.Л., Лавров Е.А., Выбор подхода типа диалога для обучающих адаптивных систем «компьютер-человек» на основе предпочтений оператора с помощью анализа. // Журнал восточно-европейский технологий передовых. Харьков: Технологический центр, 2009. С. 45-48.
42. Человеко-машинные информационно-управляющие системы: Проектирование, исследование, испытания: Справочник/Адаменко А.Н., Ашерев А.Т., и др. под общ. ред. Губинского А.И. и Евграфова Е.Г.- М., Машиностроение, 1993. – 528с.
43. Всеукраїнський студентських конкурс наукових робіт з напрямку «Комп'ютерні науки» (24-26 квітня 2019 року, Харків) Веб-сайт. URL: http://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/skr_liliia.pdf

Додаток А

Планування робіт

Ідентифікація мети ІТ-проекту

Для деталізації мети проекту використаємо методом SMART:

- specific (конкретна): створити аналітичні та імітаційні моделі для прогнозування надійності людино-машинних систем обробки інформації і управління з урахуванням можливості виникнення і усунення помилок різних типів;
- measurable (вимірювана): результатом є аналітичні та імітаційні моделі людино-машинної взаємодії, які враховують помилки різних типів;
- achievable (досяжна): реалізація моделей здійснюється за допомогою Microsoft Office Excel та Stateflow - розширення програмного забезпечення Simulink;
- relevant (реалістична): є необхідні знання та навички створення моделей та роботи з програмним забезпеченням;
- time-framed (обмежена у часі): проект буде виконано вчасно, що підтверджується календарним планом проекту.

Планування змісту структури робіт. Для спрощення робочого процесу складного ІТ-проекту необхідно розділити завдання на більш дрібні і керовані частини.

Ієрархічна структура робіт WBS, або структура декомпозиції, являє собою схему, де завдання проекту відображають їх ставлення один до одного і до проекту в цілому. WBS заснована на графічній природі, яка допомагає менеджерам проектів передбачити результати, засновані на різних сценаріях. Процес часто описується як структура відгалуження, яка охоплює всі етапи проекту в організованому порядку.

Структура декомпозиції використовується, щоб структурувати і розділити проекти на легко керовані компоненти. Вони, в свою чергу, поділяються до тих пір, поки вони не призначаються конкретному фахівцю.

WBS має наступні переваги:

- допомагає правильно організувати проекти;
- надає допомогу в описі змісту проекту для зацікавлених сторін;
- допомагає розподілити обов'язки;
- показує основні етапи проекту і всі ракурси контролю;
- дозволяє правильно оцінити витрати, ризики і час робіт.

Для того, щоб забезпечити ефективне управління проектом, визначити і структурувати перелік робіт, краще зрозуміти задачі була створена декомпозиція робіт, представлена на рисунку А.1.

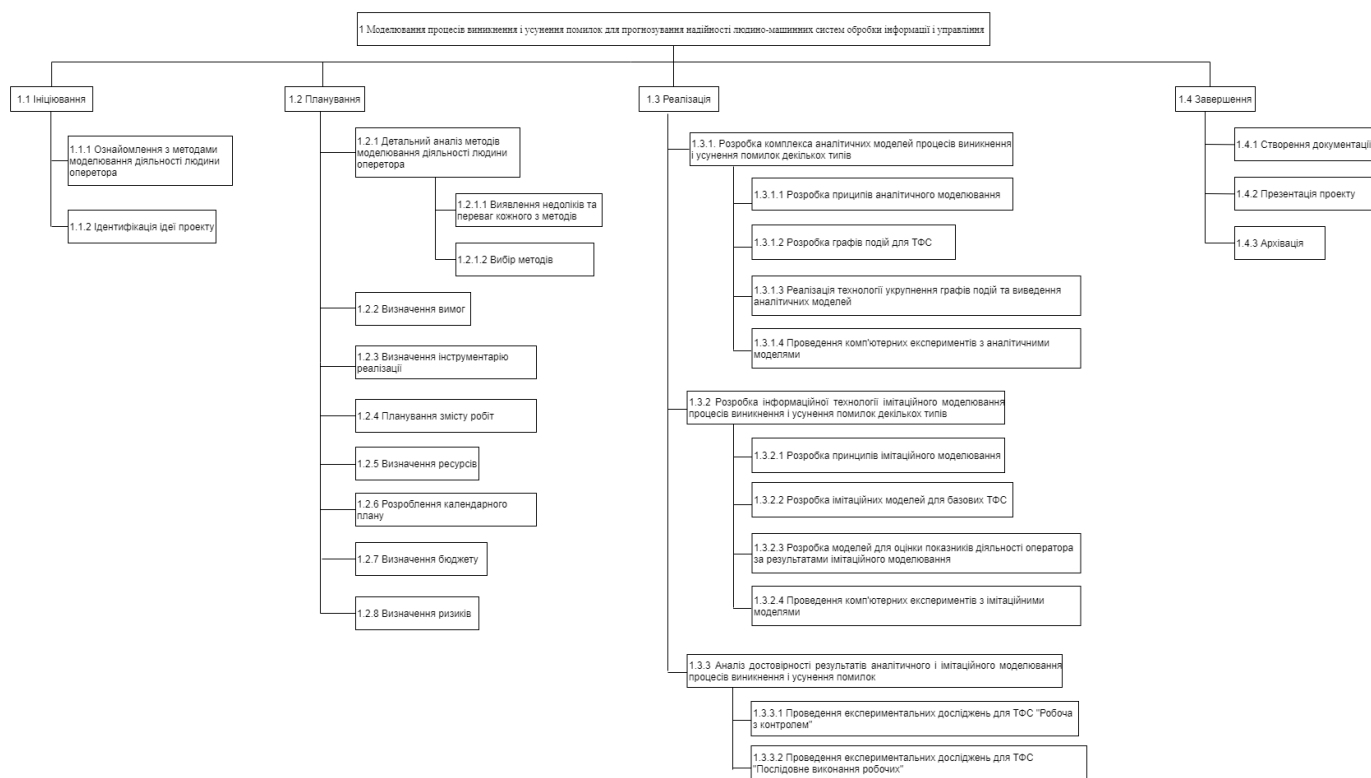


Рисунок А.1 – WBS структура проекту

Планування структури організації, для впровадження готового проекту (OBS). Наступний крок при розробці структури проекту складається з визначення

організаційної структури (OBS) проекту. В організаційній структурі проекту (OBS) графічно відображаються учасники проекту (фізичні та юридичні особи) та їхні відповідальні особи, залучені до реалізації проекту.

Верхній рівень OBS проекту складається з керівника та команди управління проектом; на наступному рівні знаходяться виконавці. Відповідальні особи виконавців знаходяться на останньому рівні OBS-структури. До таких осіб не обов'язково повинні відноситися керівники, це можуть бути ті співробітники, яким доручено безпосередньо організовувати і відповідати перед виконавцем за виконання конкретного елемента WBS-структури.

До переваг OBS структури відноситься наступне:

- ідентифікація всіх організаційних одиниць;
- визначення ролей учасників проекту та їх взаємодії;
- визначення відповідальності та повноважень;
- розподіл відповідальності і повноважень між організаційними одиницями структури.

OBS структура представлена на рисунку А.2.

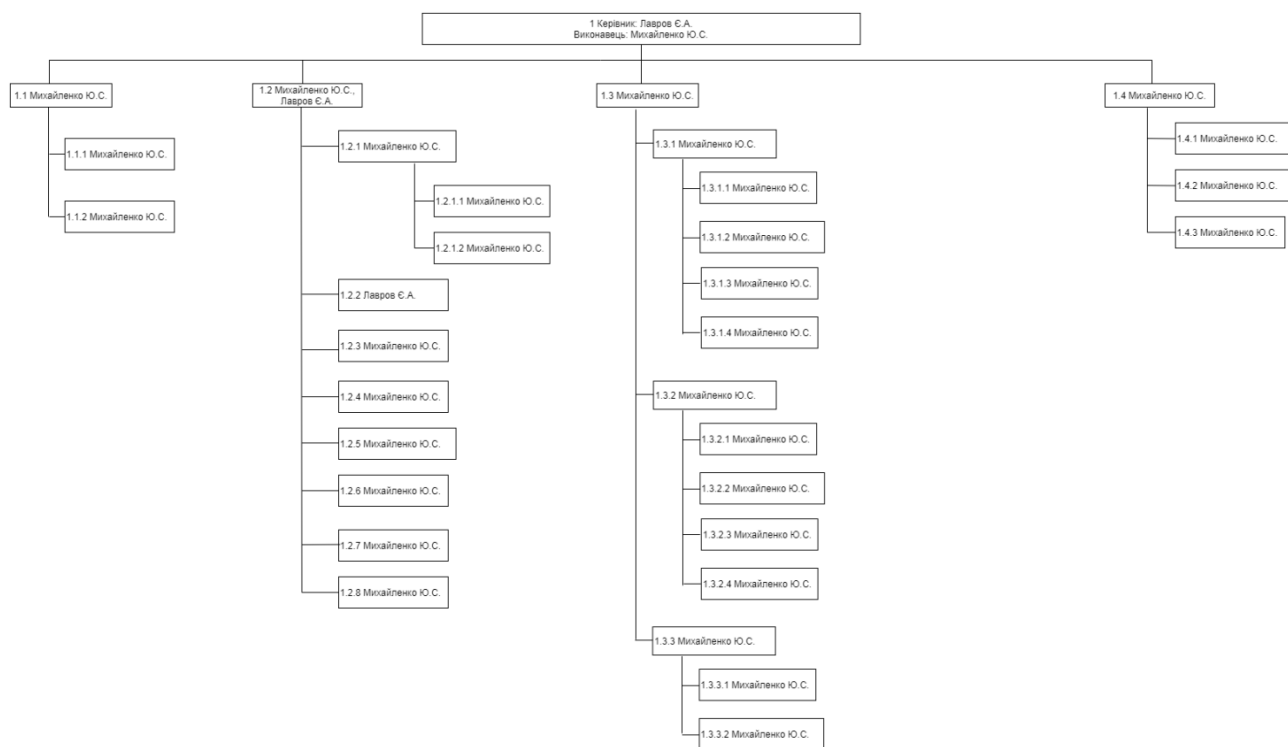


Рисунок А.2 – OBS структура

Діаграма Ганта. Розподіл часу для виконання кожної з робіт є необхідним елементом планування. Для цього використовується діаграма Ганта.

Діаграма Ганта - це горизонтальна стовпчата діаграма з тимчасовою шкалою, яка використовується для зображення плану робіт за проектом з прив'язкою до часу. Її придумав американський інженер Генрі Гант в 1910 році, і вона широко використовується для планування проектів. Завданням, перерахованим зліва від діаграми, відповідають стрічки, орієнтовані вздовж осі часу. Ці стрічки зображують робочий процес в проекті. Діаграми Ганта зазвичай містять дати початку і завершення задач, контрольні точки, залежності між завданнями і виконавців.

За допомогою діаграм Ганта керівники проектів і менеджери по продукту розбивають проекти на робочі завдання для зручності управління, підтримують порядок в роботі і роблять залежності між завданнями наочними.

На етапі реалізації великих, упорядкованих і детально опрацьованих проектів робочий процес і хід роботи завдяки діаграм Ганта стають наочними. Ці діаграми забезпечують узгодженість між командами: у всіх перед очима одні цілі і для всіх встановлені одні терміни.

Діаграми Ганта дозволяють спростити складові проекти. За допомогою цього засобу можна досить наочно і зручно для узагальнення представити велику кількість даних. Завдяки цій гістограмі велика кількість зацікавлених осіб, команд або їх учасників не стане проблемою для запису завдань, як і часті зміни обсягу роботи. Ще одна перевага використання діаграми Ганта полягає в тому, що вона дає загальне уявлення про проект в цілому, в тому числі про всі контрольні точки і терміни виконання.

Для побудови діаграми Ганта використовуємо програму MS Office Project 2010 року. Визначившись з завданнями, які повинні бути виконані, і точним часом їх виконання, отримуємо діаграму Ганта, яка показана на рисунку А.3.

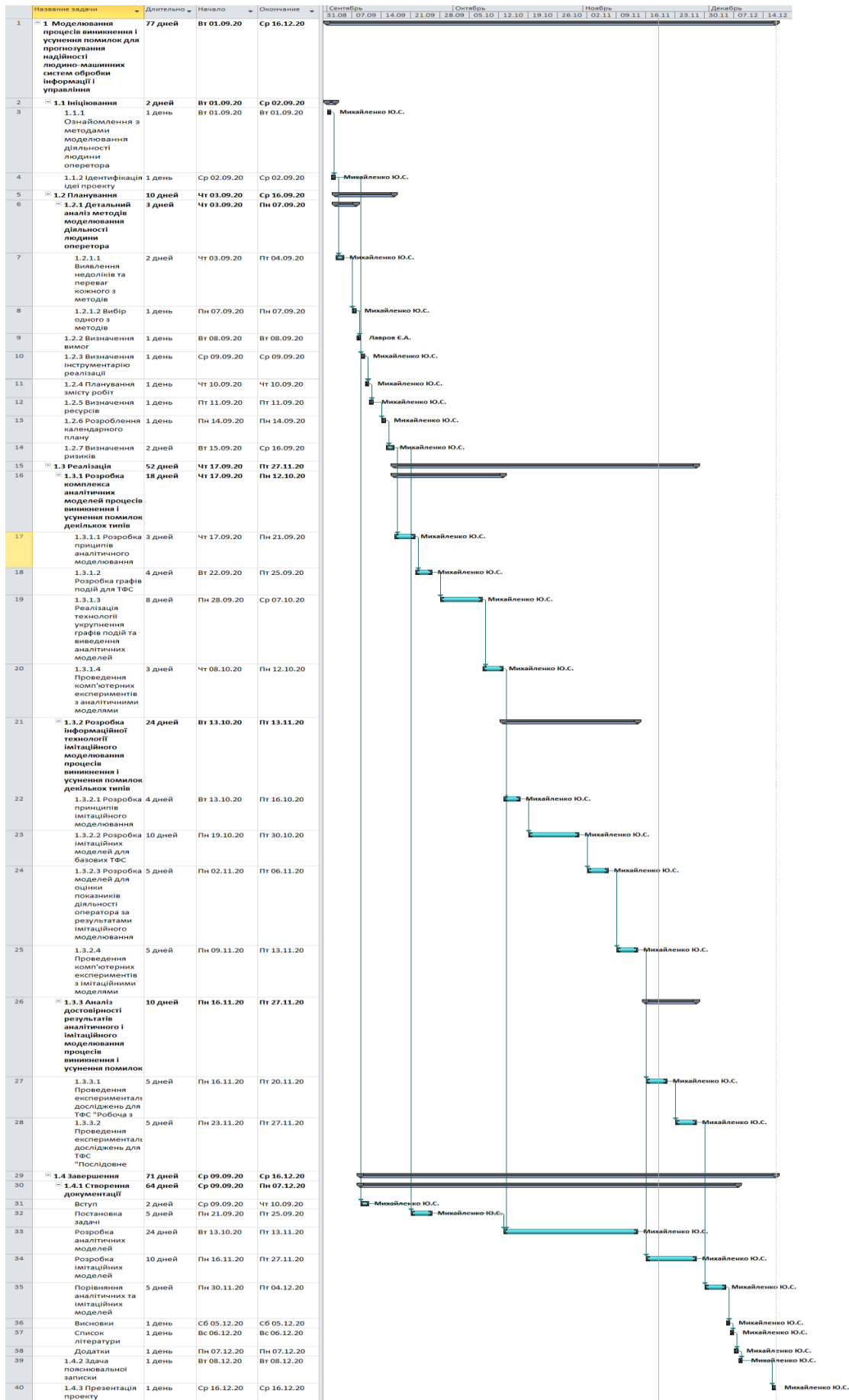


Рисунок А.3 – Діаграма Ганта

Аналіз ризиків. Виконаємо якісну і кількісну оцінку ризиків роботи. Якісна оцінка допоможе визначити ризики, що потребують швидкого реагування. Така оцінка необхідна для визначення ступіня важливості ризику і вибору способу реагування. Кількісна оцінка ризиків дозволить більш повно ідентифікувати ризики та ступінь їхнього впливу на виконання проекту. Якісна і кількісна оцінка ризиків можуть використовуватися разом або окремо, залежно від необхідності в якісній або кількісній оцінці ризиків, наявного бюджету і часу.

Визначимо ризики:

- R1 – зміна вимог при реалізації проекту;
- R2 – невчасне виконання етапів проекту;
- R3 – виявлення помилок на етапі завершення;
- R4 – виникнення несправностей в апаратному забезпеченні;
- R5 – непередбачувані життєві обставини розробника.

У таблиці А.1 зазначені ймовірності виникнення кожного з зазначених ризиків.

Таблиці А.1 - Ймовірність виникнення ризиків

Ймовірність виникнення	R1	R2	R3	R4	R5
Дуже низька					
Низька			+		
Середня		+		+	+
Висока	+				
Дуже висока					

У таблиці А.2 показані витрати при виникненні кожного з зазначених ризиків.

Таблиця А.2 – Втрати при виникненні ризиків

Значимість впливу	R1	R2	R3	R4	R5
мінімальна					
низька					+
середня		+			
висока				+	
максимальна	+		+		

Аналіз цих двох таблиць дозволив побудувати Матрицю впливу (ймовірностей і наслідків) ризиків. В матриці світлим кольором позначено неважливі ризики-білий колір, темнішим – помірні, темним – критичні.

Таблиця А.3 – Матриця ймовірність-втрати

Ймовірність			
			R1
	R5	R2	R4
			R3
	Втрати		

Виходячи з цього, було визначено два критичні ризика, такі як:

- R1 – зміна вимог при реалізації проекту;
- R4 – виникнення несправностей в апаратному забезпеченні.

Перший ризик можна уникнути, якщо заздалегідь визначити вимоги з керівником. Другий ризик «виникнення несправностей в апаратному забезпеченні» може привести до некоректної роботи системи.

Додаток Б

Порівняльний аналіз методів опису і оцінки процесів функціонування людино-машинних систем

Таблиця Б.1 - Порівняльний аналіз методів опису і оцінки людино-машинних систем

Метод Характеристика	Граф-схеми алгоритмів (ГСА)	Мережі PERT	Мережі GERT	Імітаційні моделі організаційно-технологічної надійності (ОТН)	Функціональні мережі	
					Граф-схеми	Функціональні мережі алгебраїзма
1. Загальні відомості						
1.1 Основний автор	Ляпунов А.А.	Ахьюджа Х.	Прицкер А.А	Гусаков А.А.	Губинський А.І. Ашеров Т.А.	Ротштейн А.П.
1.2 Рік розробки	1960	1979	1972	1972-1974	1969-1981 1977-1993	1990-1997
1.3 Основна спрямованість методу	Опис алгоритмів	Опис і оцінка комплексів робіт в промисловості і будівництві	Опис і оцінка довільних процесів	Опис і оцінка організаційно-технологічної надійності комплексів робіт в будівництві	Універсальна орієнтація на опис і оцінку будь-яких процесів функціонування. Опис і оцінка ефективності функціонування дискретних інформаційно виробничих ерготехнічних систем	Опис і оцінка бездефектного функціонування промислових ЛМС, в тому числі в нечітких умовах

Продовження таблиці Б.1

Метод Характеристика	Граф-схеми алгоритмів (ГСА)	Мережі PERT	Мережі GERT	Імітаційні моделі організаційно-технологічної надійності (ОТН)	Функціональні мережі	
					Граф-схеми	Функціональні мережі алгебраїзма
1.4 Наявність засобів автоматизації моделювання	Ручні	На різних класах ЕОМ	На ЄС ЕОМ	На ЄС ЕОМ	На ЄС ЕОМ ПК	Персональні комп'ютери MS DOS
2.Опис можливостей методу						
2.1 Форма подання АФ ЕТС	Граф робіт (вершини - роботи, дуги - відношення слідування в часі)	Граф подій (вершини - події, дуги - роботи)	Граф подій (вершини - події, дуги - роботи)	Граф подій (вершини - події, дуги - роботи)	Граф "робіт-подій" (вершини двох типів: роботи і події, дуги - відношення слідування в часі з широкими логічними функціями)	Граф подій (вершини - події, дуги - роботи)
2.2 Склад символів алфавіту	Дві роботи (оператор і логічне умова)	Тільки роботи з одним результатом	Роботи з одним і двома результатами	Тільки роботи з одним результатом	П'ятнадцять функціонерів і чотирнадцять композиціонерів	Три оператора робіт і два оператора умов

Продовження таблиці Б.1

Метод Характеристика	Граф-схеми алгоритмів (ГСА)	Мережі PERT	Мережі GERT	Імітаційні моделі організаційно-технологічної надійності (ОТН)	Функціональні мережі	
					Граф-схеми	Функціональні мережі алгебраїзма
2.3 Можливість представлення:						
а) послідовних робіт	Так	Так	Так	Так	Так	Так
б) паралельних робіт з ФАЛ на вході "Г"	Ні	Так	Так	Так	Так	Так
в) паралельних робіт з ФАЛ на вході "АБО виключити" / "АБО включити"	Ні	Ні	Так	Ні	Так	Так
г) паралельних робіт з ФАЛ на виході "Г"	Ні	Так	Так	Так	Так	Так

Продовження таблиці Б.1

Метод Характеристика	Граф-схеми алгоритмів (ГСА)	Мережі PERT	Мережі GERT	Імітаційні моделі організаційно-технологічної надійності (ОТН)	Функціональні мережі	
					Граф-схеми	Функціональні мережі алгебраїзма
д) паралельних робіт з ФАЛ на виході "АБО виключити" / "АБО включити"	Так/Ні	Ні	Так	Ні	Так	Так
е) циклів (повернутий)	Так	Ні	Так	Ні	Так	Так
ж) циклів (доопрацювань)	Ні	Ні	Так	Ні	Так	Так
3. Можливості обліку та подання переривань робіт через виявлені збої, помилки, відмови						
	Ні	Ні	Ні	Ні	Так	Так
4. Можливості обліку невиявлених збоїв, помилок, відмов						
	Ні	Ні	Ні	Ні	Так	Так
5. Основні недоліки методу						
	Слабкі логічні можливості	Неврахування переривань робіт через помилки, відмови	Неврахування переривань робіт через помилки, відмови	Неврахування переривань робіт через помилки, відмови	Висока складність методу	Висока складність методу

Продовження таблиці Б.1

Метод Характеристика	Граф-схеми алгоритмів (ГСА)	Мережі PERT	Мережі GERT	Імітаційні моделі організаційно-технологічної надійності (ОТН)	Функціональні мережі	
					Граф-схеми	Функціональні мережі алгебраїзма
6. Загальна оцінка описових можливостей						
	Примітивна (історично перша спроба)	Слабка	Хороша	Слабка	Найбільш висока з усіх існуючих на сьогодні	Висока
7. Оцінка можливостей методу						
7.1 Облік стохастичності результатів (через помилки і відмови)	Ні	Ні	Так	Ні	Так	Так
7.2 Облік стохастичності часу виконання роботи	Ні	Так	Так	Ні	Так	Так

Продовження таблиці Б.1

Метод Характеристика	Граф-схеми алгоритмів (ГСА)	Мережі PERT	Мережі GERT	Імітаційні моделі організаційно-технологічної надійності (ОТН)	Функціональні мережі	
					Граф-схеми	Функціональні мережі алгебраїзма
8. Характеристика часу виконання роботи						
8.1 Закон розподілу	Ні	Бета-розподіл	Нормальний або бета-розподіл	Нормальний або бета-розподіл	Гамма-розподіл (експоненціальний, нормальний, дискретний розподіл)	Різні функції розподілу
8.2 Показники	Ні	Параметри розподілу бети	Математичне сподівання і дисперсія	Математичне сподівання і дисперсія	Математичне сподівання і дисперсія	Математичне сподівання і дисперсія
9. Загальна характеристика оцінки можливостей методу						
9.1 Рівень	Нульовий	Тільки часові характеристики	Тільки часові характеристики (з урахуванням імовірнісних результатів)	Тільки часові характеристики (з урахуванням показника своєчасності)	Як вартові характеристики так і характеристики бездефектності (з урахуванням помилок, структурних відмов, оргвідмов)	Як вартові характеристики так і характеристики бездефектності (з урахуванням помилок, структурних відмов, оргвідмов)

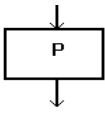
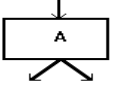
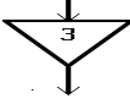
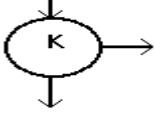
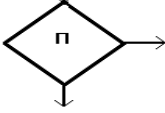
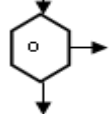
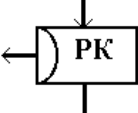
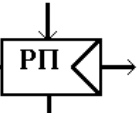
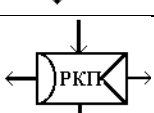
Продовження таблиці Б.1

Метод Характеристика	Граф-схеми алгоритмів (ГСА)	Мережі PERT	Мережі GERT	Імітаційні моделі організаційно-технологічної надійності (ОТН)	Функціональні мережі	
					Граф-схеми	Функціональні мережі алгебраїзма
10. Загальна оцінка методу						
	Придатний тільки для опису структур алгоритмів і процесів	Придатний для оцінки часових характеристик процесів з обмеженою логікою	Придатний для оцінки часових характеристик процесів з ймовірними наслідками і розширеною логікою	Придатний для оцінки часових характеристик і своєчасності виконуваних процесів	Придатний для оцінки часових і надійносних характеристик будь-яких процесів функціонування ЕТС з урахуванням помилок, структурних відмов і оргвідмов	Придатний для оцінки часових і надійносних характеристик будь-яких процесів функціонування ЕТС з урахуванням помилок, структурних відмов і оргвідмов

Додаток В

Типові функціональні одиниці

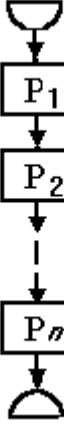
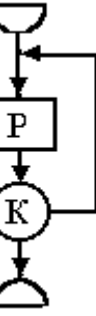
Таблиця В.1 – Типові функціональні одиниці

Види функціонерів	Найменування	Умовне позначення
	Робочий	
Основні	Логічний (альтернативний)	
	Затримки	
	Функціональний контроль	
Допоміжні	Діагностичний контроль	
	Організаційний контроль	
	Робочий з одночасним контролем результатів функціонування	
	Робочий з одночасною діагностикою техніки	
	Робочий з одночасним контролем результатів функціонування і діагностикою техніки	

Додаток Г

Типові функціональні структури для опису діяльності оператора

Таблиця Г.1 – Типові функціональні структури

Зміст типової функціональної структури (ТФС)	Схема ТФС	Показник	Розрахункова формула
1. Послідовне виконання робочих операцій, <i>RR</i>		Вірогідність безпомилкового виконання операції	$B = \prod_{i=1}^n B_i$
		Математичне очікування часу виконання операції (трудомісткості, вартості)	$M(X) = \sum_{i=1}^n M(X_i)$ $X = \{T, W, C\}$
		Дисперсія часу виконання операції (трудомісткості, вартості)	$D(X) = \sum_{i=1}^n D(X_i)$ $X = \{T, W, C\}$
2. Циклова функціональна схема “Робоча операція з контролем функціонування без обмеження на кількість циклів”, <i>RK</i>		Вірогідність безпомилкового виконання операції	$B = B^1 * K^{11} * \frac{1}{1 - (B^1 * K^{10} + B^0 * K^{00})}$
		Математичне очікування часу виконання операції (трудомісткості, вартості)	$M(X) = (M(X_p) + M(X_k)) * M(L)$ $M(L) = \frac{1}{1 - (B^1 * K^{10} + B^0 * K^{00})}$ $X = \{T, W, C\}$

Продовження таблиці Г.1

Зміст типової функціональної структури (ТФС)	Схема ТФС	Показник	Розрахункова формула
		Дисперсія часу виконання операції (трудомісткості, вартості)	$D(X) = D(L) * (M(X_p) + M(X_k))^2 + (D(X_p) + D(X_k)) * M(L)$ $D(L) = \frac{B^1 * K^{10} + B^0 * K^{00}}{(1 - (B^1 * K^{10} + B^0 * K^{00}))^2}$ $X = \{T, W, C\}$
Робоча операція з контролем функціонування і виправленням помилки без циклів, <i>RKRI</i>		Вірогідність безпомилкового виконання операції	$B = B_1^1 * K^{11} + (B_1^0 * K^{00} + B_1^1 * K^{10}) * B_2^1$
		Математичне очікування часу виконання операції (трудомісткості, вартості)	$M(X) = M(X_{p1}) + M(X_k) + (B_1^0 * K^{00} + B_1^1 * K^{10}) * M(X_{p2})$ $X = \{T, W, C\}$
		Дисперсія часу виконання операції (трудомісткості, вартості)	$D(X) = D(X_{p1}) + D(X_k) + (B_1^0 * K^{00} + B_1^1 * K^{10}) * D(X_{p2}) + (B_1^0 * K^{00} + B_1^1 * K^{10}) * (B_1^1 * K^{11} + B_1^0 * K^{01}) * M^2(X_{p2})$ $X = \{T, W, C\}$
Циклава ФС «Робоча операція з контролем функціонування, виправленням і повторенням робочої операції без обмеження на кількість циклів», <i>RK</i>		Вірогідність безпомилкового виконання операції	$B = \frac{B_1^1 * K^{11} (1 - K^{00} * B_2^0)}{K^{01} + B_1^1 * B_2^1 (K^{11} - K^{01})}$
		Математичне очікування часу виконання операції (трудомісткості, вартості)	$M(X) = M(X_{p1}) + M(X_k) + [M(X_{p1}) + M(X_{p2}) + M(X_k)] * \frac{B_1^1 * K^{10} + B_1^0 * K^{00}}{1 - (B^1 * K^{10} + B^0 * K^{00})}$ <p style="text-align: center;">де</p> $B^1 = B_1^1 * B_2^1; \quad B^0 = 1 - B^1$

Продовження таблиці Г.1

Зміст типової функціональної структури (ТФС)	Схема ТФС	Показник	Розрахункова формула
		Дисперсія часу виконання операції (трудомісткості, вартості)	$D(T) = D(X_{p1}) + D(X_k) + [D(X_{p1}) + D(X_{p2}) + D(X_k)]^*$ $* \frac{B_1^1 * K^{10} + B_1^0 * K^{00}}{1 - (B^1 K^{10} + B^0 * K^{00})} +$ $+ \frac{B_1^1 * K^{10} + B_1^0 * K^{00}}{(1 - (B^1 K^{10} + B^0 * K^{00}))^2} *$ $* \frac{B_1^1 * K^{10} + B_1^0 * K^{00}}{1 - (B^1 K^{10} + B^0 * K^{00})} *$ $* \frac{B_1^1 * K^{11} + B_1^0 * K^{01}}{(1 - (B^1 K^{10} + B^0 * K^{00}))^2} *$ $* [M(X_{p1}) + M(X_{p2}) + M(X_k)]^2$ <p>де $X = \{T, W, C\}$</p>

Додаток Д
Копії публікацій

TECHNICAL UNIVERSITY OF GABROVO



**INTERNATIONAL
SCIENTIFIC CONFERENCE**

**UNITECH 2017
GABROVO**

P R O G R A M

**17 - 18 NOVEMBER 2017
GABROVO**

A BASIC MODEL OF OPTIMIZATION OF THE MAN - MACHINE INTERACTION AND THE ANALYSIS OF THE PROSPECTS OF ITS USE IN ERGONOMICS OF AUTOMATED SYSTEMS

N.B. Pasko

Sunny National Agrarian University(Ukraine)

E.A. Lavrov, Y.S. Mikhaylenko, T.V. Shcherban

Sunny State University(Ukraine)

Abstract

A mathematical model of optimization of the man-machine system by the description of the functional algorithm in a form of an event graph was worked out.

Keywords: man-machine system, optimization, algorithm, function, event graph, ergonomics.

INTRODUCTION

Last years are characterized by a rapid change in the nature of automated technology management [1-3]:

- distributed information systems became widely spread;
- the number of operators, working simultaneously in single information space, has increased;
- the requirements for the efficiency of making decision are increasing;
- hierarchical management stipulated an increase of the role and responsibility of management operators;
- the necessity to take into account working conditions at the operator's workplaces has increased;
- the multivariance of technologies for the implementation of functions, ways of performing of individual operations, assigning operators to applications (transactions) has increased;
- the cost of errors is increasing.

In spite of the enormous achievements in the field of automation, it is impossible to exclude a person from management of complicated systems [1-3].

Paradoxically, but the role of the man-operator not only diminished, but it has even increased. 80% of accidents in production systems of different types, more than 64% of accidents in the marine fleet and 80% in aviation are caused by man-operator errors[1-3].

In fact, the purpose of every research in the field of designing of man-machine systems (MMS) is to reduce the mistaken reactions of man-operator [1-5].

The achievements of many researchers of the human factor, aimed at ensuring accuracy, are most successfully integrated in the functional-structural theory(FST) of ergotechnical systems of the school of Professor A.I. Gubinsky[1].

These models are based on the structure of algorithms for the functioning (AF) of MMS and probabilistic characteristics of the operations of these algorithms.

Developed within the framework of the FST schools, the Professor Gubinsky A.I. models stand out from many others by:

- focus on quantitative assessment;
- possibility of reduction ("folding") of the AF model with simultaneous calculation of the pragmatic AF parameters;
- computer-oriented dependencies.

The objectives of this work are:

- the development of the approach to the solution of the optimization problem of the AF MMS
- the substantive analysis of the tasks facing the designers of automated systems for using the model to improve the efficiency of automated control of complex systems.

EXPOSITION

Development of requirements for the model.

The optimization model should:

- allow to choose the variants to implement the algorithms of performing activity of various types irrespective of a subject area and the maintenance of carried out actions and operations;
- be computer-oriented
- allow for the simple realization on common software without the long-term training of ergonomists;
- allow for the creating of a library of standard models for the optimization of the most common types of relationships between AF operations;
- be compatible with the procedures of calculating the initial data for optimization and the guides on the performance characteristics of common actions and operations by ACS operators when realized on a computer.

In view of the fact that the latest most modern environment for modeling MMS has been determined the Excel environment, in which it was developed an information system focused on the evaluation of the performance indicators of AF FS implementation (author - Pasko NB), spreadsheets are also chosen as the most convenient environment for solving the optimization problem.

Development of the AF model initial for optimization problem statement.

The functioning of the system can be formulated in the form of a work graph and an event graph.

The work graph represents a logic model of an interaction of the AF operation recorded with the help of special symbols

(functionaries, i.e., operations: working procedures, control of functioning, control of efficiency, alternative, etc. [4]).

The event graph is a secondary one and based on the works graph.

"Events" reflect the consequences of performing of AF "works", for example

- "free-error performing of a work operation",
- "performing of a work operation with an error".

An example of the transition from the work graph to the event graph is shown on Picture 1, where the following designations are introduced:

P_i - work operation with number i

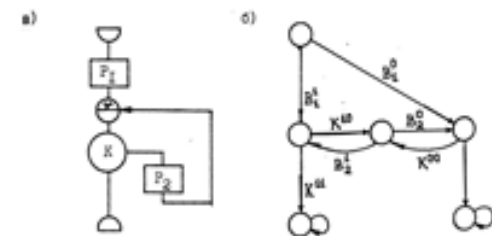
K - performance control operation

$B_i^1(B_i^0)$ - probability of error-free (erroneous) performance of the operation with the number i ;

K^{11} - the probability of recognizing that the error-free performance of a work operation is error-free;

K^{00} - the probability of recognizing that the erroneous performance of a work operation is erroneous;

$$K^{01} = 1 - K^{00}; K^{10} = 1 - K^{11}.$$



Picture 1 - the example of a transition from work graph to the event graph

a) work graph; b) event graph.

Optimization model on the "events" graph.

The use of the work graph for the ergonomist-designer is more convenient and visual, but it is possible to put the optimization problem on it only for particular cases (as a rule, for AF of a sequential type).

In this connection we will develop an optimization model on the "events" graph, which is a semi-Markov process (SMP).

The problem can be reduced to the problem of ensuring the maximum probability of absorption into a given state s , which, for example, corresponds to the event "error-free execution of AF".

On the event graph, we will assign our absorption state to each variant of the end of the operation accordingly, for example, "error-free execution of AF" or "execution of an AF with an error".

The vertices, which correspond to the absorption states, are numbered by the first r natural numbers (r is the number of absorbing vertices of the SMP).

For initial vertices, which are numbered by numbers from the numerical sequence after the first r absorbing vertices, it is necessary to specify a vector of initial probabilities, that is, the probability of finding the system in the initial states at the corresponding vertex of the event graph:

$$a = (a_{r+1}, a_{r+2}, \dots, a_m), \sum_{i=r+1}^m a_i = 1$$

Let us introduce the following variables and designations: P_{ij}^k - the probability of the transition of the SMP from the vertex i to the vertex j in the k -th method of performing the work,

N - the total number of vertices, of which the first r - the absorption vertices,

\bar{t}_i^k - the mathematical expectation of the random variable of process length of stay at the vertex i when choosing the k -th solution,

\bar{u}_i^k - the mathematical expectation of resource consumption when the process is at the vertex i and the k -th solution is chosen;

T_0 - the limitation on AF execution time,

U_0 - the restriction on resource consumption for the implementation of AF,

x_i^k - the variable that characterizes the choice of the solution: $x_i^k > 0$ if for i -th vertex is chosen k solution, otherwise i is equal 0,

K_i - the set of admissible solutions in the i -th vertex.

In such conditions, the problem is formulated as follows:

$$\sum_{i=r+1}^N \sum_{k \in K_i} P_{ij}^k x_i^k \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\sum_{i=r+1}^N \sum_{k \in K_i} x_i^k \bar{t}_i^k \leq T_0 \quad (2)$$

$$\sum_{i=r+1}^N \sum_{k \in K_i} x_i^k \bar{u}_i^k \leq U_0 \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K_j} x_j^k - \sum_{i=r+1}^N \sum_{k \in K_i} x_i^k P_{ij}^k = a_j, j = \overline{r+1, N} \quad (4)$$

$$x_j^k \geq 0, j = \overline{r+1, N}, k \in K_j \quad (5)$$

$$\sum_{k \in K_j} \delta_j^k = 1 \quad (6)$$

$$x_j^k - M \delta_j^k \leq 0, j = \overline{r+1, N}, k \in K_j \quad (7)$$

$$\delta_j^k = \delta_j^l = \dots = \delta_j^m, k \in K_j \quad (8)$$

where l, m, \dots, n - dependent states which correspond to one AF operation (there may be several vertices on the event graph of one operation and it is obvious that identical decisions must be taken for them) or to the different operations that must be performed in the same way; δ_j^k - a boolean variable (it takes the value 0 or 1); M - a sufficiently large number.

The conditions (6) and (7) are required to find the unique solution at the vertex where the only one way of performing the operation is admissible. As in the ACS in each particular operation mode, each operation can be performed only in the one way, and change of the way is possible only when another mode has been chosen and for each mode it is necessary to build the appropriate AF, we will use only a pure strategy. So, the restriction of type (6) and (7) shall be introduced for all vertices. The restriction (8) is required for choosing the same solutions in dependent states.

The convenience of the model (1) - (7) is that the problem is reduced to the problem of linear programming, which can be solved with the help of any software package focused on this problem.

Approbation. We carried out wide approbation of models of this type in different software environments, including:

- Excel
- Matlab.

The model has been used many times in solving problems of ergonomic design:

- Call-centers [5]
- Systems which provide access to Internet resources [6]
- Flexible manufacturing systems [7]
- Outsourcing campaign management systems [8-9]
- Management of the main gas pipeline [10-11]
- Settlement centers [12]
- e-learning [13]
- Production processes of machine-building enterprises [14-15], chemical industry enterprises [16].
- And etc.

Analysis of the problems of the ergonomic management of the optimization model.

In the process of the development of the arrangements for ergonomic quality assurance programs of automated systems it is required to solve the following tasks [4]:

- Professional selection of operators
- Selection of the degree of automation
- Distribution of functions between operators
- Design of information models
- Design of working conditions at operator's workplaces
- Design of the activity algorithms.

So far the main problem of the designing and efficient operation of ACS is to take into consideration the whole complex of influencing factors, such as:

- design features of workplaces, interface features;
- the intensity of activities,
- operator's functional state,
- the state of the environment,
- temporal conditions of activity,
- qualification of an operator,
- emotional condition,
- motivation,
- settings (for speed, response time, etc.)

It is clear that a change in the value of any of these factors leads to a change in the value of effectiveness of the AF.

However, analyzing the experience of using mathematical models of the type (1) - (8) in ergonomics, it is possible to make the conclusion that such an experiment takes place only within the framework of the scientific school "Efficiency, quality and reliability of ergotechnical systems of professor Gubinsky A.I." [4-17]. Among such models there are the models for the design of activity algorithms [4,5,6,9,17], the distribution of functions between a human and automation [4], the distribution of functions among operators [4,7,11,12], etc

Obviously, the practice of ergonomic management rarely refers to models of the type (1) - (8) because of the "narrow interpretation" of the concept "the method of performing an operation" (from the set of K_i - admissible solutions at the i -th vertex – refer to tasks (1) - (8)). Traditionally in ergonomics such method is interpreted restrictively (for example, " to press the button" or " to toggle" or "to give a voice command")

In practice, the change of any parameter in the MMS leads to a change of the characteristics of the ways of operation performance. So, for example, if it is solved the problem of the design of working conditions at the operators' workstations is solved, then the reliability and time response characteristics of the operations performed at the corresponding work places are also changed accordingly.

Likewise there can be formed the variety of possible ways of the performing of operations taking into consideration the influence of all the above-mentioned influencing factors. And this is a combinatorial problem.

Evidently to overcome the obvious difficulties of applying optimization models in ergonomics it is required:

- to expand the interpretation of the concept of " the method of operation performance"
- to develop information technology to generate possible ways of performing operations based on a combination of possible MMS parameters

CONCLUSION

It has been developed the mathematical model of the optimization of the human-machine system when describing the algorithm of functioning in the form of an event graph.

The optimization is reduced to the problem of linear programming.

The wide outreach of information technologies for solving linear programming problems makes this model quite a convenient tool for ergonomists and experts in the reliability of MMS.

The task of the subsequent widespread implementation of the optimization model in ergonomic management of automated systems is determined as the task of automatic generation of the alternatives for AF MMS, operations with the determination of the appropriate reliability and time response characteristics.

REFERENCES:

- [1] Rothmorea, P., Aylwardb, P., Karmona J. The implementation of ergonomics advice and the stage of change approach [Text]. / P. Rothmorea, P. Aylwardb, J. Karmona // Applied Ergonomics. – 2015. – № 51. – P. 370-376.
- [2] Bentley, T.A., Teo, S.T.T., McLeod, L., Tana, F., Bosua, R., Gloet, M. The role of organisational support in teleworker wellbeing: A socio-technical systems approach [Text] / T.A. Bentley, S.T.T. Teo, L. McLeod, F. Tana, R. Bosua, M. Gloet // Applied Ergonomics. – 2016. – № 52. – P. 207-215.
- [3] Wang, Y., Zheng, L., Hiu, T., Zheng, Q. Stress, burnout and job satisfaction: case of police force in China [Text] / Y. Wang, L. Zheng, T. Hiu // Public Pers. Manag. – 2014. – №43. – P. 325-339.
- [4] Gubinskiy A.I., Evgrafov V.G. Information controlling human-machine systems: research, design, testing. Reference book, Moscow, Mechanical Engineering, 1993. 528 p. (In Russian)
- [5] Lavrov, E. Modelling Of Operator's Activity in Contact Center Of Providing Internet And Television Services [Text] / E. Lavrov, A. Krivodub, Y. Shapochka // International Scientific Conference "UNITECH '16". Proceedings. 18-19 November 2016, Gabrovo, Bulgaria. - Gabrovo: University Publishing House "V.APRILOV", 2016. – Volume 2. - P.p 195-200
- [6] Krivodub A.S. Evaluation of the reliability of operators' activity in systems providing access to computer network resources. Series: New solutions in modern technologies. News of National Technical University "KhPI", 2016, no. 18 (1190), pp. 140-147. (In Russian)
- [7] Lavrov, E. Mathematical models for the distribution of functions between the operators of the computer-integrated flexible manufacturing systems / N. Pasko, A. Krivodub, A. Tolbatov // proceedings of the XIII-th international conference tcset'2016 "modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science". – Lviv-Slavsko, Ukraine, february 23 – 26, 2016. – p. 72-76
- [8] Lavrov, E. Ergonomics of IT outsourcing. Development of a mathematical model to distribute functions among operators [Text] / E. Lavrov, N. Pasko, A. Krivodub, N. Barchenko, V. Kontsevich // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2016. – N4 (80). – P. 32-40
- [9] Lavrov E.A., Krivodub A.S. The approach to the evaluation of options for the operators of technical support for information services of telecommunication systems. Reports of BSUR, Minsk, 2015, no. 2 (88), pp. 123-126. (In Russian)
- [10] Koshara V.S., Lavrov E.A. The formalized description of the activity of operators of the gas-pumping plant control system // Computer science, mathematics, automatics: the materials and the program of the scientific and technical conference, Sumy, April 18-22, 2016. - Sumy, Sumy State University, 2016, 96 p. (In Russian)
- [11] Koshara V., Krivodub A., Pasko, N., Lavrov E. Information Technology Distribution of Applications between Operators of the Compressor Station // Advanced Information Systems and Technologies : proceedings of the IV international scientific conference, May 25-27, 2016 - Sumy: Sumy State University, 2016. - p. 89
- [12] Lavrov, E. Information technology for distribution of functions between operators in automated systems. Analysis of efficiency. [Text] / E. Lavrov, N. Pasko, // International Scientific Conference "UNITECH '15". Proceedings. 18-19 November 2015, Gabrovo, Bulgaria. - Gabrovo: University Publishing House "V.APRILOV", 2015. – Volume 2. - P.p 298-306
- [13] Lavrov E. Development of models for the formalized description of modular e-learning

- systems for the problems on providing ergonomic quality of human-computer interaction/ E Lavrov, N Barchenko, N Pasko, I Borozenc// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 2 (2 (86)), 4–13
- [14] Bahmach M., Lavrov E. Program Complex of Statistical Calculations for Control the Quality of Products at Lebedinsky Plant of Piston Rings Advanced Information Systems and Technologies: proceedings of the IV international scientific conference, May 25-27, 2016– Sumy: Sumy State University, 2016. – P. 82-84
- [15] Bahmach N.V., Lavrov E.A. The formalized description of the production processes at the Lebedinsky Factory of Piston Rings for quality management tasks // Computer science, mathematics, automatics: the materials and the program of the scientific and technical conference, Sumy, April 18-22, 2016 – Sumy, Sumy State University, 2016, 90 p. (In Russian)
- [17] Lavrov E.A., Skidanenko A.S. Ergonomic reserves of increasing the efficiency of automated process control system for the production of fertilizers // Modern Information Systems and Technologies: the materials of the Second International Scientific and Practical Conference, Sumy, May 21-24, 2013 - Sumy: Sumy State University, 2013, pp. 53-54. (In Russian)



11. Koshun V., Krivodub A., Pasko, N., Lavrov E. Information Technology Distribution of Applications between Operators of the Compressor Station //Advanced Information Systems and Technologies: proceedings of the IV international scientific conference, May 25-27, 2016 - Sumy: Sumy State University, 2016. - P. 89.
12. Lavrov, E. Information technology for distribution of functions between operators in automated systems. Analysis of efficiency. [Text] / E. Lavrov, N. Pasko, // International Scientific Conference «UNITECH '15». Proceedings. 18-19 November 2015, Gabrovo, Bulgaria. - Gabrovo: University Publishing House «V.APRILOV», 2015. – Volume 2. - P p 298-306.
13. Lavrov E. Development of models for the formalized description of modular e-learning systems for the problems on providing ergonomic quality of human-computer interaction/ E Lavrov, N Barchenko, N Pasko, I Borozheno// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 2 (2 (86)), 4–13.
14. Bahmach M., Lavrov E. Program Complex of Statistical Calculations for Control the Quality of Products at Lebedinsky Plant of Piston Rings. Advanced Information Systems and Technologies: proceedings of the IV international scientific conference, May 25-27, 2016– Sumy: Sumy State University, 2016. – P. 82-84.
15. Бахмач Н.В., Лавров Е.А. Формализованное описание производственных процессов на Лебединском заводе поршневых колец для задач управления качеством // Информатика, математика, автоматика: материалы та програма науково-технічної конференції, м. Суми, 18-22 травня 2016 р. – Суми : СумДУ, 2016. – С. 90.
16. Лавров Е.А., Сходженко А.С. Эргономические резервы повышения эффективности АСУТП производства удобрений //Сучасні інформаційні системи і технології: Матеріали Другої міжнародної науково-практичної конференції, м. Суми, 21-24 травня 2013 р. — Суми : СумДУ, 2013. — С. 53-54.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДАМИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

Е. А. Лавров, Н. Б. Паско, Т. В. Щербань, Ю. С. Михайленко

Сумский государственный университет

Сумы

prof_lavrov@sumdu.edu.ua

Приваленованы эргономические проблемы современного цифрового управления. Предложен метод оптимизации алгоритма деятельности человека-оператора. Охарактеризована сфера возможных применений метода. Предложены пути широкого внедрения методов оптимизации в практику эргономического обеспечения.

Ключевые слова: цифровая технология производства, эргономика, человек-оператор, деятельность, оптимизация, надежность.

IMPROVEMENT OF DIGITAL TECHNOLOGIES OF PRODUCTION BY METHODS OF OPTIMUM CONTROL OF HUMAN-MACHINE INTERACTION

E. A. Lavrov, N. B. Pasko, T. V. Shcherban, Y. S. Michaylenko

Zarey State University

Zarey

Ergonomic problems of modern digital control are analyzed. A method for optimizing the algorithm of human operator activity is proposed. The sphere of possible applications of the method is characterized. Ways of wide introduction of optimization methods in the practice of ergonomic provision are suggested.

Key words: digital production technology, ergonomics, human operator, activity, optimization, reliability.

Введение. Последние годы охарактеризованы быстрым изменением характера автоматизированного управления технологиями [1-3]:

- получили широкое распространение цифровые распределенные системы информационные системы
- увеличилось количество операторов, одновременно работающих в едином информационном пространстве
- возрастает требования к оперативности принятия решений
- иерархическое управление обусловило повышение роли и ответственности операторов-руководителей
- увеличилась необходимость учета условий труда на рабочих местах операторов
- увеличилась многовариантность: технологий реализации функций, способов выполнения отдельных операций, закрепления операторов за заданиями (операциями)
- возрастает цена ошибок

Несмотря на колоссальные достижения в области автоматизации исключить человека из контура управления сложными системами не удается [1-3].

Парадоксально, но роль человека оператора не только не уменьшается, но даже увеличивается. 80% аварий в производственных системах разных типов, более 64% катастроф на морском флоте и 80% в авиации вызваны ошибками человека-оператора [1-3].

Фактически все исследования в области проектирования человеко-машинных систем (ЧМС) ставят целью уменьшить ошибочные реакции человека-оператора [1-5].

Достижения многих исследователей человеческого фактора, направленные на обеспечение безошибочности, наиболее удачно комплексированы в функционально-структурной теории (ФСТ) эргономических систем школы проф. А.И. Губинского [4].

В основу этих моделей положены структуры алгоритмов функционирования (АФ) ЧМС и вероятностные характеристики операций этих алгоритмов.

Разработанные в рамках школы ФСТ проф. Губинского А. И. модели выгодно отличаются от многих других [4].

- ориентацией на количественную оценку
- возможностью редукции («сворачивания») модели АФ с одновременным расчетом прагматических показателей АФ
- компьютерноориентированными зависимостями

Постановка задачи.

Целью настоящей работы является:

- разработка подхода к решению оптимизационной задачи АФ ЧМС
- содержательный анализ задач, стоящих перед проектируемыми автоматизированными системами по использованию модели для повышения эффективности автоматизированного управления сложными системами.

Подход к решению оптимизационной задачи.

Разработка требований к модели. Оптимизационная модель должна:

- позволять выбрать варианты реализации алгоритмов исполнительской деятельности различных типов независимо от предметной области и содержания выполняемых действий и операций
- быть компьютерноориентированной
- допускать возможность простой реализации на распространенных программных средствах без длительного обучения экономистов
- допускать возможность создания библиотек типовых моделей для оптимизации наиболее распространенных видов взаимосвязей между операциями АФ
- допускать совместимость при реализации на компьютере с процедурами расчета исходных данных для оптимизации и справочниками по характеристикам качества выполнения типовых действий и операций операторами цифровых систем управления

В связи с тем, что последней наиболее современной средой моделирования ЧМС определена среда EXCEL, в которой разработана информационная система, ориентированная на оценку показателей эффективности реализаций АФ ЧМС (автор- Пасьяк Н.Б.), в качестве наиболее удобной среды решения оптимизационной задачи также выбраны электронные таблицы.

Таким образом, для решения задачи предложено:

- осуществить переход от графа работ, описывающего АФ ЧМС, к графу событий (полумарковской процесс)
- построить целевую функцию, соответствующую максимизации вероятности попадания в заданную вершину (безошибочное выполнение)
- сформулировать ограничения (как правило, на время и расход ресурсов)
- реализовать процедуру «Поиск решения»
- проанализировать решение и разработать соответствующие технические решения, реализующие рекомендуемые параметры ЧМС

Разработанные программное и методическое обеспечение максимально упрощает технологию получения оптимальных решений. При этом разработана база данных методов решения типовых задач для типовых АФ ЧМС.

Анализ проблем использования оптимизационных моделей и пути совершенствования эргономических решений. В процессе разработки мероприятий программ обеспечения эргономического качества автоматизированных систем необходимо решать задачи [4]:

- профессиональный отбор операторов
- Выбор степени автоматизации
- распределение функций между операторами
- проектирование информационных моделей
- проектирование условий труда на рабочих местах операторов
- проектирование алгоритмов деятельности

Таким образом, основная проблема проектирования и эффективной эксплуатации автоматизированных систем, стоящая сегодня, - проблема учета всего комплекса взаимосвязанных факторов, таких как:

- конструктивные особенности рабочих мест, особенности интерфейса
- напряженность деятельности
- функциональное состояние оператора
- состояние среды
- темповые условия деятельности
- подготовленность оператора
- эмоциональное состояние
- мотивация
- установки (на скорость, на быстроедействие) и т.п.

Понятно, что изменение значения любого из указанных факторов приводит к изменению значений эффективности АФ.

Однако, если проанализировать опыт использования в эргономике математических моделей описанного типа, то можно прийти к выводу, что такой опыт имеет место только в рамках научной школы «Эффективность, качество и надежность эргономических систем проф. Губинского А. И.» [4]. Среди таких моделей – модели для проектирования алгоритмов деятельности [4,5,6], распределения функций между человеком и автоматикой [4], распределения функций между операторами [4,7,8] и др.

Очевидно, практика эргономического обеспечения редко обращается к оптимизационным моделям эргономики в связи с «узкой трактовкой» понятия «способ выполнения операции». Традиционно в эргономике такой способ трактовался узко (например, «нажать кнопку» или «переключить тумблер» или «дать голосовую команду»).

На практике изменение любого параметра в ЧМС приводит к изменению характеристик способов выполнения операций. Так, например, если решается задача проектирования условий труда на рабочих местах операторов, то соответственно изменяются и надежность-временные характеристики операций, выполняемых на соответствующих рабочих местах.

Аналогичным образом могут формироваться множества возможных способов выполнения операций посредством учета влияния всех перечисленных выше взаимосвязанных факторов. А это – комбинаторная задача.

Очевидно, чтобы преодолеть очевидные трудности применения оптимизационных моделей в эргономике, необходимо:

- расширить трактовку понятия «способ выполнения операции»
- разработать информационную технологию генерации возможных способов выполнения операций на основе комбинации возможных параметров СЧМ.

Библиографический список

1. Rothmore, P., Aylward, P., Karmona J. The implementation of ergonomics advice and the stage of change approach [Text] / P. Rothmore, P. Aylward, J. Karmona // *Applied Ergonomics*. – 2015. – № 51. – P. 370-376.
2. Bentley, T.A., Teo, S.T.T., McLeod, L., Tana, F., Boma, R., Gloet, M. The role of organisational support in teleworker wellbeing: A socio-technical systems approach [Text] / T.A. Bentley, S.T.T. Teo, L. McLeod, F. Tana, R. Boma, M. Gloet // *Applied Ergonomics*. – 2016. – № 52. – P. 207-215.
3. Wang, Y., Zheng, L., Hui, T., Zheng, Q. Stress, burnout and job satisfaction: case of police force in China [Text] / Y. Wang, L. Zheng, T. Hui // *Public Pers. Manag.* – 2014. – №43. – P. 325-339.
4. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытание: Справочник / Под общ. ред. А.И. Губинского и В.Г. Есграфова. – М.: Машиностроение, 1993. – 528с.
5. Lavrov, E. Modelling Of Operator's Activity In Contact Center Of Providing Internet And Television Services [Text] / E. Lavrov, A. Krivodub, Y. Shapochka // *International Scientific Conference «LNITECH '16». Proceedings. 18-19 November 2016, Gabrovo, Bulgaria.* - Gabrovo: University Publishing House «V.APRILOV», 2016. – Volume 2. - P p 195-200.
6. Криводуб А.С. Оценка надежности деятельности операторов в системах предоставления доступа к ресурсам компьютерных сетей // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – 2016. – № 18 (1190). – С.140-147.
7. Lavrov, E. Mathematical models for the distribution of functions between the operators of the computer-integrated flexible manufacturing systems / N. Pasiko, A. Krivodub, A. Tolbatov // *proceedings of the XIII-th international conference icset'2016 «modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer sciences»*. – Lviv-Slavsko, Ukraine, february 23 – 26, 2016. – p. 72-76.
8. Lavrov, E. Ergonomics of IT outsourcing. Development of a mathematical model to distribute functions among operators [Text] / E. Lavrov, N. Pasiko, A. Krivodub, N. Barchenko, V. Kostevich // *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. – N 4 (80). – P. 32-40.

Министерство образования и науки РФ ■ Петрозаводский государственный университет ■ Московский международный университет ■ ООО «ФОРС – Центр разработки» ■ ООО «Интернет-бизнес-системы» ■ Институт прикладных математических исследований КирНЦ РАН

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ, НАУКЕ, ОБЩЕСТВЕ

Материалы XII всероссийской
научно-практической конференции

(4–6 декабря 2018 года)

Петрозаводск
2018

МОДЕЛИ ДЛЯ ЭРГОНОМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ, УПРАВЛЯЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ СЛОЖНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Е. А. Лавров, Т. В. Щербань, Ю. С. Михайленко, А. В. Федорова

Сумский государственный университет

Сумы

prof_lavrov@mail.ru

Рассмотрены проблемы создания систем информационной безопасности автоматизированных систем. Обоснована необходимость эргономического обеспечения деятельности операторов. Разработана структура системы эргономического обеспечения операторов, описаны основные задачи и подходы к их решению.

Ключевые слова: эргономика, кибербезопасность, информационная безопасность, управление инцидентами, надежность, человек-оператор, система управления.

MODELS FOR ERGONOMIC MAINTENANCE OF OPERATORS MANAGING INFORMATION SECURITY OF COMPLEX AUTOMATED SYSTEMS

E. A. Lavrov, N. B. Pasko, T. V. Shcherban, Y. S. Mikhaylenko, A. V. Fedorova

Sumy state university

Sumy

The problems of creating information security systems of automated systems are considered. The necessity of ergonomic support for the activities of operators has been substantiated. The structure of the system of ergonomic support of operators was developed, the main tasks and approaches to their solution were described.

Key words: ergonomics, cybersecurity, information security, incident management, reliability, human operator, control system.

Исходные предпосылки. Создание системы управления информационной безопасностью (обозначаются аббревиатурой SIM (Security Information Management), SIEM (Security Information and Event Management), Cyber Security and Management (CSM)) предполагает создание системы поддержки принятия решений, направленных на минимизацию последствий различных нарушений, в т. ч. инцидентов безопасности. Имеется в виду, что инцидент — любое событие, которое не является частью стандартного функционирования, которое приводит или может привести к остановке или снижению качества функционирования или предоставления услуги [1].

Проблема управления инцидентами и постановка задач исследования. Главная цель процесса управления инцидентами — восстановить штатное функционирование и минимизировать отрицательное влияние инцидентов на бизнес-процессы [1]. Основные действия, выполняемые в процессе управления инцидентами (Рис. 1).

- обнаружение и регистрация инцидента;
- классификация и первичная поддержка;

- расследование и диагностика;
- разрешение и восстановление;
- закрытие инцидента.

Качество работ по управлению инцидентами существенно зависит от характеристик и организации деятельности операторов, задействованных в процессе реализации этих этапов:

- квалификация,
- мотивация,
- функциональное состояние,
- загруженность,
- операционно-темповая напряженность деятельности,
- условия труда на рабочем месте,
- качество информационной модели,
- степень автоматизации,
- наличие процедур поддержки принятия решений,
- распределение функций между операторами,
- др.



Рис. 1 Схема процесса управления инцидентами

Целью настоящей работы является разработка структуры системы эргономического обеспечения деятельности операторов управляющих информационной безопасностью сложных автоматизированных систем.

Разработка номенклатуры задач эргономического обеспечения системы управления информационной безопасностью. Основными задачами эргономики и информационной безопасности должны быть:

- определение численности операторов и их квалификации,
- определение степени автоматизации расследования и устранения инцидентов (распределение функций между операторами и средствами автоматизации),
- распределение функций между операторами и проектирование групповой деятельности по расследованию и устранению инцидентов,
- проектирование условий труда (в т. ч. по темпу и количеству обрабатываемых заявок),
- проектирование информационных моделей адаптивных интерфейсов для операторов,
- проектирование алгоритмов деятельности по расследованию и устранению инцидентов операторов.

Принципы разработки информационных моделей для операторов. При автоматизации процессов управления инцидентами необходимо уделять внимание автоматизированной обработке событий информационной безопасности — основе практически любого инцидента. События от различных технических средств защиты являются важнейшим поставщиком информации о процессах, происходящих в системе управления информационной безопасностью, нарушениях, рисках. На основании событий проводятся корректирующие действия, оценка текущей защищенности системы, эффективности функционирования системы информационной безопасности. Только обладая полным и достоверным набором событий, можно провести надлежащее расследование инцидентов. События — основной канал обратной связи для управляющих воздействий в рамках системы управления информационной безопасностью. Если соответствующая база данных отсутствует, информация об имеющих отношение к инциденту единицах конфигурации будет добавляться вручную, что существенно увеличит время обработки инцидента и повысит ее сложность. Для поддержания процесса обработки событий на уровне, обеспечивающем информационное обеспечение операторов технической поддержки, необходима автоматизированная система управления обработкой событий (АСУОС).

АСУОС должна:

- собирать события от всех информационно-технических средств и возможных источников инцидентов;
- приводить события к единому формату;
- осуществлять хранение событий;
- формировать информационные модели операторов системы и отчетные формы в режиме OLAP.

Собранные данные должны подвергаться корреляции и формировать информационную модель (специальный интерфейс) операторов.

Средства поиска, предоставляемые оператору, должны позволять осуществлять оперативное и всестороннее расследование инцидентов.

Модели для СПНР деятельности оператора в системе управления информационной безопасностью. Управление инцидентами является достаточно сложным процессом при реализации всех процедур. Поэтому при внедрении описанного процесса, как правило, прибегают к средствам

автоматизации. Однако, представленные на рынке программных продуктов системы не в полной мере решают проблему информационной поддержки принятия решений оператором-руководителем. Известные программы не позволяют оператору-руководителю в условиях информационной напряженности и дефицита времени оценить последствия распределения работ и выбрать оптимальный вариант.

Основными проблемами являются:

- Каким операторам поручить работы по устранению нарушений?
- Как диагностировать причины нарушений?

В связи с этим нами разрабатываются элементы СППР, позволяющие:

- оценить вероятность безошибочного реализации алгоритмов деятельности по устранению нарушений конкретными операторами и таким образом предложить оптимальную технологию решения задачи;
- документировать возникающие дефекты с указанием возможных причин их возникновения (База данных «Проблемы (ошибки)»);
- на основе анализа информации, накопленной в Базе данных «Проблемы» с использованием моделей DATA MINING (нейронная сеть, fuzzy logic, деревья решений, байесовские модели и др.) оценивать возможные источники и причины нарушений.

Для задач проектирования и оптимизации деятельности используется методология функционально-структурной теории эргономических систем профессора Губинского А.И. [2], модели и программные средства [3–6].

Библиографический список

2. <https://www.osr.ru/os/2001/07-08/180310/>
3. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытание: Справочник/Под общ. ред. А. И. Губинского и В. Г. Елафрова. -М.: Машиностроение, 1993. -528с.
4. Lavrov, E. Mathematical models for the distribution of functions between the operators of the computer-integrated flexible manufacturing systems/N. Pasko, A. Krivodub, A. Tolbatov//Proceedings of the XIII-th international conference tcset'2016 «Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer sciences». -Lviv-Slavsko, Ukraine, february 23 -26, 2016. -p. 72-76.
5. Лавров Е.А., Пасьяк Н.Б., Федорова А.В., Плеханов Е. Диалоговый моделирующий качественный комплекс для эргономического обеспечения цифровых технологий управления // В сборнике: Цифровые технологии в образовании, науке, обществе Материалы XI (1) всероссийской научно-практической конференции, Петрозаводск, 27—30 ноября 2017 г. — Петрозаводск, 2017. — С. 87–90.
6. Лавров Е.А., Пасьяк Н.Б., Щербань Т.В., Михайленко Ю. С. Совершенствование цифровых технологий производства методами оптимального управления человеко-машинным взаимодействием// В сборнике: Цифровые технологии в образовании, науке, обществе Материалы XI (1) всероссийской научно-практической конференции, Петрозаводск, 27—30 ноября 2017 г.- Петрозаводск, 2017. - С. 90-94.

7. Lavrov, E. Ergonomics of IT outsourcing. Development of a mathematical model to distribute functions among operators /E. Lavrov, N. Pasko, A. Krivodub, N. Barchenko, v. Konsevich/ Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2016. -N.4 (80) -Р. 32–40.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ФОРМЫ УЧЕБНИКОВ В НАЧАЛЬНОЙ ШКОЛЕ: ПЛЮСЫ И МИНУСЫ

Е. А. Мальшенко, Т. А. Тимохина

Средняя школа № 27

Петрозаводск

malsh@sc.karelia.ru

В статье рассматриваются преимущества и недостатки использования электронной формы учебников на примере учебно-методического комплекса «Перспективная начальная школа» (из опыта работы).

Ключевые слова: электронная форма учебника.

THE ELECTRONIC FORM OF THE TEXTBOOK IN PRIMARY SCHOOL: PROS AND CONS

E. A. Malysenko, T. A. Timohina

Secondary school № 27

Petrozavodsk

The article discusses the advantages and disadvantages of using electronic forms of textbooks for example educational and methodical complex «Prospective elementary schools» (from work experience)

Key words: electronic form of the textbook.

Нормативным обоснованием введения в образовательный процесс электронных форм учебников является федеральный закон РФ «Об образовании в Российской Федерации» N 273-ФЗ от 29.12.2012, статья 16 «Реализация образовательных программ с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий». А с 2015 года обязательное условие для включения учебника в федеральный перечень — наличие электронной формы.

С 2014 года наша школа работает по УМК «Перспективная начальная школа», который обеспечен как бумажными формами учебника, так и электронными. Исходя из опыта работы в начальной школе, попытаемся представить преимущества и недостатки ЭФУ издательства «Академиздат».

Электронные формы учебников (ЭФУ) по всем предметам являются электронными изданиями, по структуре, содержанию и художественному оформлению соответствующими печатным формам учебников и содержащими мультимедийные элементы и интерактивные ссылки, которые расширяют и дополняют содержание учебников.

Преимущества:

- Учебник обеспечивает системно-деятельностный подход к обучению, получение личностных, предметных, метапредметных результатов, помогает формировать исследовательские



**Моделювання людино-машинної взаємодії в АСУ
з урахуванням можливості виникнення
і усунення помилок різних типів**

Михайленко Ю.С.¹, студент; Лавров Є.А.¹, професор;
Пасько Н.Б.², доцент

¹Сумський державний університет, м. Суми, Україна

²Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

Від 50 до 80% аварій в АСУ пов'язані з проблемою так званого «людського фактору». Існує велика кількість моделей оцінювання оптимізації людино-машинної взаємодії в АСУ, але, на жаль, ці моделі орієнтовані на урахування можливості виникнення помилок лише одного типу. В зв'язку з можливістю в реальних системах наявності різноманітних помилок існує гостра необхідність розробки моделей та інформаційної технології оцінювання надійності людино-машинної взаємодії в АСУ з урахуванням можливості виникнення і усунення помилок різних типів. В основі отримання кінцевого набору формул для безлічі типових функціональних структур (ТФС) лежить процедура переходу від «графа робіт», відповідної ТФС, до «графу подій» (рис. 1).

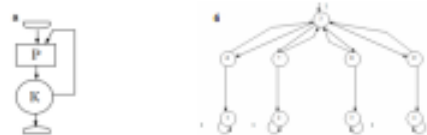


Рисунок 1 – ТФС «Робоча – контроль функціонування»
а – граф робіт, б – граф подій

Розроблено метод базового графу та Н-функцій, який дозволяє отримувати математичні моделі для типових функціональних структур з урахуванням помилок різних типів. Запропонований метод використаний для двох типових функціональних структур: «Робоча операція з контролем функціонування» та «Робоча операція з контролем функціонування, доопрацюванням і повторенням робочої операції». Проведене комп'ютерне моделювання процесу обробки даних в системі роздрібної торгівлі з урахуванням двох типів найбільш важливих помилок дозволяють визначити ймовірність безпомилкового виконання, ймовірність виконання окремо з кожним типом помилки та математичне очікування часу виконання.

НПК МНІС ІП-2019
ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ
І СТУДЕНТІВ

3
ЧАСТИНА



ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ 30-РІЧЧЮ
КАФЕДРИ КІБЕРБЕЗПЕКИ
ТА КОМП'ЮТЕРНИХ
СИСТЕМ І МЕРЕЖ
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ



КбКСМ ХНУ

Перелік посилань

1. Проективання інформаційних систем: посібник / за ред. В.С. Пономаренка. К.: Видавничий центр «Академія», 2002. 488с.
2. Гринченко Н.Н., Гусев Е.В., Макаров Н.П. Проектирование баз данных. СУБД Microsoft Access. М.: Горячая Линия-Телеком, 2004. 240 с.
3. Кузин А.В., Левонисова С.В. Базы данных. К.: Академия, 2008. 320 с.
4. Бекаревич Ю., Пушкіна Н. Самоучитель Microsoft Access 2003. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 738 с.
5. HTML и HTML5. URL: <https://html5book.ru/html-html5/>.
6. Язык программирования PHP, создание сайтов. URL: <http://www.mirsite.ru/php.html/>.
7. JavaScript и jQuery. URL: <https://html5book.ru/javascript-jquery/>.

Моделювання процесів технічної підтримки надання IT-послуг

Михайленко Ю.С.

Науковий керівник – професор Лавров С.А.

Сумський державний університет, Суми, Україна

Якість обслуговування заявок в центрах технічної підтримки надання IT-послуг суттєво залежить від організації роботи операторів. На жаль, в більшості компаній оператори працюють в умовах операційно-темпової напруженості, черги, без організації необхідних відпочинків. Незважаючи на велику кількість розробок з питань ергономічного забезпечення інформаційних систем, моделі, які необхідні для прийняття рішень в центрах технічної підтримки надання IT-послуг, відсутні.

ТОВ «Сумські телекомсистеми» є компанією, яка пропонує приватним клієнтам послугу доступу до мережі Інтернет на території м. Суми та Сумського району, співпрацю у сфері побудови телекомунікаційних мереж для забудовників, власників житлої та комерційної нерухомості, широкий спектр телекомунікаційних послуг в м. Суми та Сумському районі для бізнес-клієнтів.

При дослідженні особливостей автоматизації управління заявками на технічне обслуговування в компанії Телекомсистеми було виявлено, що робота оператора проводиться у моніторинговому середовищі Zabbix, в системі зайнято чотири чергові оператори. Також було проаналізовано і виділено чотири основні проблеми обробки заявок: клієнт поповнив свій рахунок за інтернет, але проплатена сума на рахунку не відображається; у клієнта не працює інтернет (проблема з абонентським обладнанням); у

клієнта не працює інтернет (проблема з обладнанням компанії); у клієнта не працює телебачення (не сплачено).

Обробка заявок здійснюється за виділеними основними чотирма алгоритмами. Для опису алгоритмів діяльності людини-оператора розроблена спеціальна мова: операціям алгоритму ставляться у відповідність типові функціональні одиниці. Оцінку показників ефективності, якості й надійності зручно проводити за допомогою методу професора А.І.Губінського.

Модель процесів технічної підтримки надання ІТ-послуг з урахуванням ергономічних показників діяльності оператора була створена в середовищі Matlab і включає в себе введення даних, обчислення, візуалізацію і програмування. Для моделювання було використано пакет розширення Simulink системи MATLAB, який дозволяє отримати імітаційні моделі для кожного типу заявок, операторів та черги.

Таким чином, розроблено комплекс аналітичних та імітаційних моделей для оцінювання та аналізу процесів технічної підтримки надання ІТ-послуг з урахуванням ергономічних показників діяльності оператора.

Розробка дозволяє визначити необхідну кількість операторів, кваліфікацію операторів і раціональні технології обробки заявок.

Модель інформаційного простору віртуальних груп соціальних мереж

Павчук В.В.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Муляр І.В.

Хмельницький національний університет

З розвитком інформаційно-комунікаційних технологій, ресурсів мережі інтернет, доступності величезних об'ємів інформації постає проблема впливу цих ресурсів на окремих осіб і на суспільство в цілому. Інформаційний вплив часто можна розглядати як компоненту інформаційної кампанії, інформаційної операції. Сьогодні існують наукові роботи, що описують методики і механізми інформаційного впливу, існують і певні математичні моделі.

В цьому дослідженні об'єктом моделювання є інформаційний простір, який виступає як середовище функціонування інформаційних агентів, у якості яких розглядаються пов'язані сутності «повідомлення - джерело». Саме повідомлення розглядаються як інструмент інформаційного впливу. Разом з цим повідомлення самі є продуктом діяльності людей (або їх емітаторів - «ботів»). Інформаційні повідомлення можуть «репоститись», містити посилання як на близькі за контентом повідомлення, так і на інші об'єкти реального або віртуального світу.

Для вивчення механізмів інформаційних впливів на суспільство через

Додаток Е

Копії актів впровадження

Затверджую
Перший проректор
Сумського державного університету

_____ Карпуш В.Д.
« _____ » _____ 2020р.

АКТ
Впровадження в навчальний процес
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
результатів наукової роботи
студентки групи ПТ.м - 91 Сумського державного університету
Михайленко Юлії Сергіївни
на тему
«Моделювання процесів виникнення і усунювання помилок для прогнозування надійності
людино-машинних систем обробки інформації і управління»

Складений 1 грудня 2020 р. комісією у складі:

Голова комісії:

Доцент кафедри комп'ютерних наук, д-р с.н. «Інформаційні технології промисловості, кандидат технічних наук, доцент Шендрок В.В.

Члени комісії:

1. Професор кафедри комп'ютерних наук, доктор технічних наук, професор *Лапко С.А.*
2. Доцент кафедри комп'ютерних наук, кандидат технічних наук, доцент *Чабрак Я.І.*
3. Асистент кафедри комп'ютерних наук, *Данілова Л.В.*

В період з 1 грудня 2020 р. по 10 грудня 2020 р. комісія провела роботу з вивчення впровадження результатів Михайленко Ю.С. в навчальний процес кафедри комп'ютерних наук.

Результати роботи комісії

1. На кафедру комп'ютерних наук передано комплекс програм «Моделювання процесів виникнення і усунювання помилок для прогнозування надійності людино-машинних систем обробки інформації і управління».
 2. Матеріали використані в дисципліні «Теорія ризиків» для студентів бакалавратури, що навчаються за освітньою програмою «Кибербезпека» в наступних лабораторних роботах:
 - практичне застосування методів імітаційного моделювання в задачах управління ризиками. Stateflow моделі управління ризиками (2 години);
 - прийняття рішень у вібербезпеці за умов ризику (2 години)
- Використання результатів дипломної роботи у навчальному процесі Сумського державного університету дозволить підвищити якість підготовки фахівців.

Голова комісії
Члени комісії

 Шендрок В.В.
 Лапко С.А.
 Чабрак Я.І.
 Данілова Л.В.

Додаток Ж

Копії дипломів студентських наукових робіт





Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Дипломом переможця 4 ступеня нагороджується

МИХАЙЛЕНКО Юлія Сергіївна



Сумський державний університет

Всеукраїнський конкурс
студентських наукових робіт з напрямку
«Інформатика і кібернетика»

Вінниця

12-13 квітня 2018 р.

Голова конкурсної комісії,
проректор з наукової роботи ВНТУ, д.т.н., проф



[Signature] С. В. Павлов