

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
**Факультет електроніки та інформаційних технологій**  
**Кафедра інформаційних технологій**

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Світлана ВАЩЕНКО

\_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня магістр**

зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»,

освітньо-наукової програми «Інформаційні технології проектування»

на тему: Інформаційна технологія оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів

Здобувача групи ІТ.м-21н Татарчук Руслан Миколайович  
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Руслан Татарчук  
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник \_\_\_\_\_ д.т.н., проф., Євгеній ЛАВРОВ \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Сумський державний університет  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра інформаційних технологій  
Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»  
Освітньо-наукова програма «Інформаційні технології проектування»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. зав. кафедри ІТ

\_\_\_\_\_ С. М. Ващенко

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

## **ЗАВДАННЯ**

**на кваліфікаційну роботу магістра студентіві**

Татарчуку Руслану Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1 Тема кваліфікаційної роботи** Інформаційна технологія оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів

затверджена наказом по університету від «01» лютого 2024 р. № 0096-VI

**2 Термін здачі студентом кваліфікаційної роботи** «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**3 Вхідні дані до кваліфікаційної роботи** результати обстеження автоматизованих технологічних комплексів в харчовій промисловості, бази даних про надійність виконання оператором типових дій і операцій, математичні моделі оцінки надійності типових функціональних структур діяльності оператора

**4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)** аналіз проблем ергономічного забезпечення автоматизованих технологічних комплексів, аналіз методів оцінювання надійності діяльності операторів автоматизованих систем та постановка задач дослідження, проектування програмного забезпечення, розробка інформаційної технології оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів

**5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових слайдів презентації)** аналіз об'єкта дослідження, ергономічні проблеми автоматизованих технологічних комплексів, методи оцінювання надійності діяльності оператора,

постановка задачі, моделі редукції функціональних мереж, моделі інформаційної технології, інтерфейси інформаційної технології, приклади реалізації інформаційної технології, наукова новизна і практична значущість результатів

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

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

Дата видачі завдання \_\_\_\_\_.

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис)

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз проблем ергономічного забезпечення автоматизованих технологічних комплексів	04.03.2024 – 14.03.2024	
2	Аналіз методів оцінювання надійності діяльності операторів автоматизованих систем та постановка задач дослідження	15.03.2024 – 31.03.2024	
3	Проектування програмного забезпечення	01.04.2024 – 10.04.2024	
4	Розробка інформаційної технології оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів	11.04.2024 – 03.05.2024	

Магістрант \_\_\_\_\_

Руслан Татарчук

Керівник роботи \_\_\_\_\_

д.т.н., проф., Лавров Є. А.

## АНОТАЦІЯ

Тема роботи: «Інформаційна технологія оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів»

Мета роботи: Розробити інформаційну технологію онлайн-оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів.

У роботі розглянута задача оцінювання надійності діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів. Розроблено інформаційну технологію, яка забезпечує автоматизоване оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів.

На відміну від існуючих моделей оцінки надійності алгоритмізованої діяльності людини-оператора, орієнтованих на «ручне» розпізнавання типових функціональних структур або на Excel-технології автоматизації розрахунків, запропонований метод використовує предикатні моделі опису діяльності, що забезпечує автоматизацію ідентифікації типових функціональних структур та можливість онлайн розрахунків, в тому числі в мережі інтернет.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (87) та 5 додатків на 76 сторінках. Повний обсяг – 165 сторінок, основний – 89 сторінок, містить 72 рисунків та 17 таблиць.

Результати доповідались (2 доповіді) на конференції «Інформатика Математика Автоматика», Суми – Астана, 22–26 квітня 2024 року.

Опубліковано 2 наукові роботи [1-2].

Інформаційна технологія дозволяє оперативно моделювати діяльність оператора з метою виявлення ергономічних резервів підвищення надійності процесів управління складними об'єктами.

Результати впроваджено в приватне акціонерне товариство “Прилуцький хлібозавод”, про що є відповідний акт.

Ключові слова: оператор; математичні моделі; функціональна мережа; алгоритм; надійність.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ЕРГОНОМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ .....	10
1.1 Аналіз автоматизованих технологічних комплексів, як складних людино- машинних систем і проблеми «людського» фактору .....	10
1.2 Аналіз реальної системи управління автоматизованим технологічним комплексом .....	12
1.3 Аналіз підходів до забезпечення ергономічної якості автоматизованих технологічних комплексів .....	21
1.4 Висновки до розділу 1 .....	22
2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	23
2.1 Оцінювання надійності людини оператора із використанням функціонально- структурної теорії ерготехнічних систем. Функціональні мережі.....	23
2.2 Мета та задачі дослідження.....	29
2.3 Аналіз програмних засобів для оцінювання людино-машинної взаємодії та вибір методу ідентифікації ТФС для удосконалення автоматизації розрахунків ..	31
2.4 Висновки до розділу 2 .....	35
3 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	37
3.1 Структурно-функціональне проектування .....	37
3.2 Моделювання варіантів використання.....	39
3.3 Висновки до розділу 3 .....	41
4 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ АЛГОРИТМІВ ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ .....	42
4.1 Розробка моделі опису і аналізу функціональної мережі для виявлення типових функціональних структур діяльності оператора.....	42
4.2 Розробка підходу до реалізації інформаційної технології .....	45

4.3 Розробка підсистеми формування запитів і синтезу звітів про аналіз надійності реалізації алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів .....	46
4.4 Розробка підсистеми оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів .....	53
4.5 Приклади використання інформаційної технології для реалізації оцінювання алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів....	62
4.6 Аналіз результатів дослідження .....	72
4.7 Висновки до розділу 4 .....	74
ВИСНОВКИ .....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	77
ДОДАТОК А. Планування робіт .....	90
ДОДАТОК Б. Лістинги програм.....	98
ДОДАТОК В. Приклади результатів роботи програми .....	120
ДОДАТОК Г. Копії публікацій.....	159
ДОДАТОК Д. Копія акту впровадження .....	165

## ВСТУП

**Актуальність.** Надійність автоматизованих технологічних комплексів суттєво залежить від надійності діяльності людини оператора. Для вибору раціональних алгоритмів людино-машинної взаємодії необхідно оперативно оцінювати показники надійності діяльності людини-оператора. Існують розроблені науковою школою професора Губінського А. І. математичні моделі для оцінювання типових функціональних структур та методологія редукції функціональних мереж, які описують людино-машинну взаємодію, але моделі і інформаційні технології оцінювання, розроблені в рамках наукової школи (Адаменко А. М., Пасько Н. Б., Лавров Є. А., Барченко Н. Л., Федорова А. В.), не забезпечують можливості автоматичного онлайн оцінювання. В зв'язку з ергономічними проблемами ряду підприємств та розробкою міжнародного проекту підтримки прийняття ергономічних рішень стає актуальною задача розробки інформаційної технології онлайн оцінювання надійності людино-машинної взаємодії.

**Об'єкт дослідження.** Діяльність операторів автоматизованих технологічних комплексів.

**Предмет дослідження.** Оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів.

**Мета.** Розробити інформаційну технологію оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів.

**Задачі.** Проаналізувати особливості діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів. Проаналізувати методи оцінювання надійності діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів. Поставити задачу автоматичного оцінювання надійності операторів автоматизованих технологічних комплексів. Розробити математичну модель виявлення в описі алгоритму діяльності оператора типових функціональних структур та реалізації редукції моделі алгоритму діяльності. Розробити інформаційну технологію онлайн оцінювання надійності діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів. Провести

експериментальне дослідження розробленої інформаційної технології та експериментально перевірити достовірність результатів.

**Суперечність, що вирішується у роботі.** Наявність математичних моделей типових функціональних структур діяльності операторів та методологія редукції (згортання) функціональних мереж, на жаль до поточного часу не забезпечені процедурами автоматичного розпізнавання типових функціональних структур і повної автоматизації розрахунків.

**Гіпотеза дослідження.** Якщо описати типові функціональні структури діяльності оператора, виділені ученими наукової школи професора Губінського А. І. з використанням спеціальної мови опису оснований на принципах побудови предикатних моделей, запропонованих в роботах Губінського А. І. та Адаменко А. М., та використати відомі математичні залежності для оцінювання типових функціональних структур, то можна забезпечити ефективно розпізнавання елементів функціональної мережі та онлайн оцінювання надійності діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів.

**Методи дослідження.** Функціонально-структурна теорія надійності ерготехнічних систем, методи теорії вірогідностей, теорії надійності, функціональних мереж, логіки предикатів.

**Новизна результатів.** На відміну від існуючих моделей оцінки надійності алгоритмізованої діяльності людини-оператора, орієнтованих на «ручне» розпізнавання типових функціональних структур або на Excel-технології автоматизації розрахунків, запропонований метод використовує предикатні моделі опису діяльності, що забезпечує автоматизацію ідентифікації типових функціональних структур та можливість онлайн розрахунків, в тому числі в мережі інтернет.

**Апробація.** Результати доповідались (2 доповіді) на конференції «Інформатика Математика Автоматика», Суми – Астана, 22–26 квітня 2024 року.

Опубліковано 2 наукові роботи [1-2]. Копії публікацій наведено в додатку Г.



**Практичне значення.** Інформаційна технологія дозволяє оперативно моделювати діяльність оператора з метою виявлення ергономічних резервів підвищення надійності процесів управління складними об'єктами.

**Впровадження.** Результати впроваджено в приватне акціонерне товариство “Прилуцький хлібозавод”, про що є відповідний акт (додаток Д). Результати використовувались при:

- розробці україно-американо-латвійського проекту «EAGER IMPRESS-U: Human Factors Modeling Online Research and Education Support Center (ORESC) for UKR-Baltic-US Network»;
- розробці науково-дослідного проекту кафедри інформаційних технологій Сумського державного університету 0120U103071 «Моделі та методи інформаційних технологій для аналізу та синтезу структурних, інформаційних і функціональних моделей об'єктів і процесів, що автоматизуються» (етап 2023 року).

# 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ЕРГОНОМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

## 1.1 Аналіз автоматизованих технологічних комплексів, як складних людино-машинних систем і проблеми «людського» фактору

Перехід від концепції «Індустрія 4.0» до концепції «Індустрія 5.0» принципово змінює виробництво, соціальну сферу, людино-машинні відносини [3].

З'являються нові підходи та парадигми, наприклад [3].:

- Кіберфізична система;
- Кіберфізична соціальна система;
- "Оператор 5.0";
- «Відмовостійкий оператор 5.0».

Змінюються вимоги до організації діалогової взаємодії, орієнтованої на зменшення ризиків для людини, об'єкта управління і середовища [3].

Відповідно до статистики, майже 80% аварій викликано тим, що користувач з тих чи інших причин не зміг контролювати довіреної йому системи, будь то автомобіль, літак чи, для наприклад, електростанція. Що означає вираз «не впорався з управлінням..»? Це означає, що користувач не зміг виконувати своє завдання за певних умов, у певному місці і в певний час. Він не зрозумів вимог системи (не бачив попереджувальних сигналів або таких сигналів немає), переплутав сигнали системи, не встигнув вжити заходів для запобігання аварії (алгоритму діяльності в екстремальних умовах не було розроблено), не знав, як запобігти ситуації (не був навчений, не проходив профвідбір тощо) [3]. І є багато інших "не можна", пов'язаних з ергономічним забезпеченням інформаційної системи [3]. Цим питанням треба приділяти більше уваги, тому що аварії призводять до серйозних наслідків, включаючи людські жертви [4-6].

Узагальнена структура автоматизованого технологічного комплексу [4-6] показана на рис. 1.1.

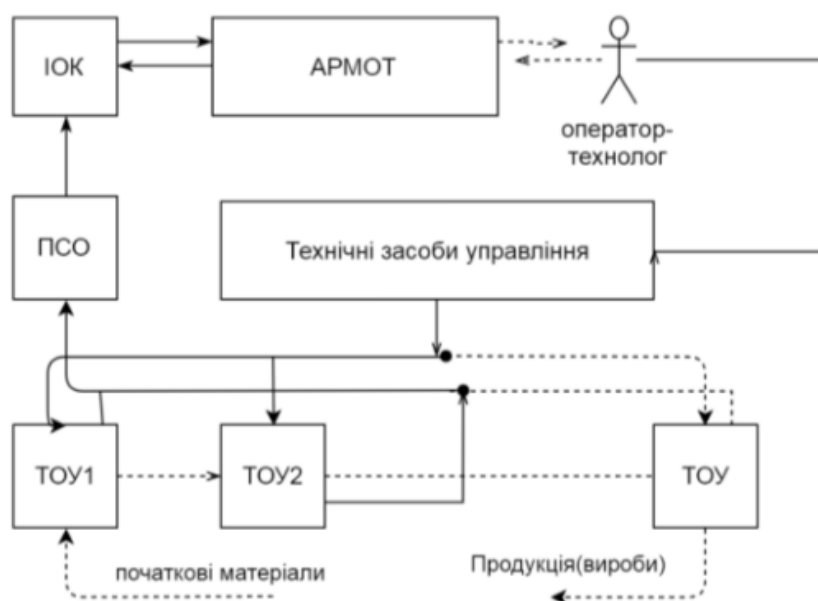


Рисунок 1.1 – Узагальнена структура автоматизованого технологічного комплексу [4-6]

Зміна ролі оператора в автоматизованих технологічних комплексах вимагає особливої уваги до проблем «людського фактору» і прийняття рішень на основі об'єктивних кількісних оцінок надійності людино-машинної взаємодії.

В поточний час розробляється онлайн система підтримки ергономічних досліджень і оцінювань ефективності засобів по забезпеченню умов праці [7]. Цей україно-американсько-латвійський проект передбачає необхідність швидкого оцінювання альтернативних варіантів організації діяльності операторів для прийняття оптимальних управлінських рішень. В даній роботі в рамках даного проекту будемо виконувати роботи по створенню такої інформаційної технології, яку в перспективі планується використати в глобальній системі підтримки досліджень «людського фактору» в автоматизованих технологічних комплексах. Для того, щоб такі дослідження спирались на аналіз реальних систем і була забезпечена можливість реального впровадження і апробація результатів використаємо можливість співпраці з реальним підприємством, яке звернулось до нас з задачею підтримки досліджень пошуку ергономічних резервів забезпечення безпеки виробництва і харчової безпеки. Це підприємство – Приватне акціонерне товариство «Прилуцький хлібозавод» [8]. Таким чином, в даній роботі будемо розробляти моделі і технології, що можуть бути

використані для широкого кола систем. А апробацію і аналіз ефективності проведемо для даного обраного підприємства.

## **1.2 Аналіз реальної системи управління автоматизованим технологічним комплексом**

Для більш детального ознайомлення з проблемами автоматизованих технологічних комплексів розглянемо конкретне підприємство – приватне акціонерне товариство “Прилуцький хлібозавод”.

### **1.2.1 Загальна інформація про підприємство “Прилуцький хлібозавод”**

Приватне акціонерне товариство “Прилуцький хлібозавод” [8] – це великий агропромисловий комплекс, промислова площа якого займає значну територію.

ПрАТ “Прилуцький хлібозавод” (рис. 1.2) має статус базового підприємства хлібопекарської галузі промисловості України по виробництву хлібобулочних виробів.



Рисунок 1.2 – ПрАТ “Прилуцький хлібозавод”

Основна діяльність хлібозаводу:

- виробництво хліба та хлібобулочних виробів;
- виробництво борошняних кондитерських виробів, тортів і тістечок нетривалого зберігання;
- проведення проектних, проектно-дослідницьких, дослідницьких робіт;
- оптова та роздрібна торгівля;
- посередницькі послуги по продажу товарів народного споживання.

В структуру підприємства входять численні основні та допоміжні цехи, а також підрозділи непромислової групи. Для ефективного контролю та управління хлібопекарським виробництвом важливо врахувати такі відділення та підрозділи: склад безтарного зберігання борошна (БЗБ); приготування розчинів і зберігання

рідкої сировини; приготування та оброблення тіста; забезпечення виробництва. Кожне відділення та підрозділ слід розглядати як самостійні об'єкти управління.

### **1.2.2 Функціональна структура системи управління**

Управління складом БЗБ реалізується за допомогою автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП). Система має два ієрархічні рівні.

На першому рівні розташовані первинні перетворювачі (датчики) та сигналізатори параметрів, засоби управління виконавчими пристроями та пускова апаратура. Диспетчерські пульти управління розташовані в основному на місці об'єкта управління.

Другий рівень передбачає використання контролерів в кількості трьох комплектів з гарячим резервуванням, що працюють в режимі операторської станції. Є локальна мережа з диспетчерським пультом управління, сервером бази даних та робочими місцями оператора-технолога та хіміка-аналітика. Прийом і передача інформації здійснюється за допомогою мережевих структур.

Щодо управління приготуванням розчинів солі, цукру, жиру та інших інгредієнтів, використовується та ж система управління, що й для складу БЗБ, з використанням контролерів на другому рівні у комплекті з комп'ютерами для відображення інформації, введення завдань та контролю якості розчинів, які постачаються на виробництво.

Тістоприготування є основним і тривалим етапом, що визначає якість хлібобулочних виробів. Основні операції тістоприготування включають дозування сировини, їх змішування та заміс, а також бродіння.

Розглянемо одноетапний, найбільш прогресивний спосіб виробництва хлібобулочних виробів. Замість тіста відбувається у тістомісильній машині неперервної дії, в окремих робочих камерах. У камері попереднього змішування проводиться перемішування вихідних компонентів. Борошно вводиться в камеру автоматичним ваговим дозатором.

Рідкий напівфабрикат дозується шестикомпонентною дозуючою станцією з двома секціями для нього. Решта секцій дозуючої станції подають розчини цукру, солі та розтопленого жиру. Шоста секція є резервною. Потрібна кількість компоненту забезпечується налаштуванням для кожного каналу станції. Інтенсивна механічна обробка тіста відбувається у робочій камері пластифікатора тістомісильної машини.

Також є система управління процесом тістоприготування, яка реалізована за допомогою АСУТП, який передбачає два ієрархічні рівні.

Склад першого рівня ідентичний системі управління складом БЗБ. Другий рівень передбачає використання мережевих контролерів у кількості 3 комплектів з гарячим резервуванням на базі управляючої ЕОМ, що працює як робоча станція.

Для обробки результатів аналізу основної та додаткової сировини, готовності рідких напівфабрикатів і тіста, оформлення товарно-транспортних накладних з постачальниками використовується автоматизованого робочого місця (АРМ) лабораторії, яка за стандартним інтерфейсом пов'язана з АРМ технолога та іншими.

Керування та дані вводяться в комп'ютер оператором-технологом за допомогою клавіатур відеотерміналів. АСУТП тістоприготування включає модулі введення аналогових, дискретних та імпульсних сигналів, необхідних для формування інформації від первинних перетворювачів технологічних параметрів та дискретних пристроїв, а також модулі виведення дискретних та аналогових сигналів для безпосереднього керування технологічним процесом виконавчими пристроями.

Сучасні печі для випічки хлібобулочних виробів складаються з теплотехнічних і транспортно-механічних пристроїв, обладнаних засобами управління основними параметрами процесу. Використовуються переважно печі, що працюють на газовому та рідкому паливі, з рециркуляцією продуктів згоряння, а також на електрообігріві.

Систему управління технологічним процесом випічки можна реалізувати за допомогою АСУТП, яка передбачає два ієрархічних рівні. Перший рівень складається з первинних перетворювачів та сигналізаторів параметрів, засобів управління та пускового обладнання. Другий рівень передбачає використання мережевих контролерів.

АСУТП випічки хлібобулочних виробів забезпечує відображення інформації про стан технологічного процесу, контроль над надходженням заготовок, введення завдань та команд з клавіатури програмно-технічного комплексу (ПТК) та АРМ оператора-технолога та управління технологічним процесом.

Система управління пічним агрегатом реалізує такі функції: вимірювання температури в основних зонах печі, регулювання температури середовища в пекарській камері, автоматичне блокування перевищення температури суміші топкових рециркуляційних газів, контроль наявності полум'я, контроль та блокування тиску повітря в вентиляторі горілки, автоматичне запалювання печі.

Система автоматики безпеки передбачає автоматичний запалювання печі в наступній послідовності: продувка газоходів в печі перед пуском протягом 1-2 хв; включення подачі палива та електроенергії; запалювання палива за допомогою електродів запалювання; прогрів топки в режимі "Мале полум'я" протягом 1-2 хв та обережного прогріву печі з електрообігрівом; відключення горілки при відсутності полум'я протягом 15 с після подачі палива.

Засоби контролю та управління рухом конвеєра, вимірювання температури по зонах пекарської камери розташовані на пульті ПТК операторської станції, яка розміщена біля посадочного вікна печі та має канал зв'язку з АРМ технолога. На пульті управління ЕОМ, який встановлений з боку топки, що має зв'язок з операторською станцією та з АРМ технолога розташовані засоби управління та безпеки.

### **1.2.3 Загальна характеристика системи управління технологічним процесом**

Система управління технологічним процесом є багатофункціональною системою, тобто має зовнішні та внутрішні функції. Зовнішніми є функції, які визначаються призначенням системи; внутрішніми – службові функції, які



забезпечують якісне виконання основних, зовнішніх функцій. Зовнішні функції АСУТП поділяють на інформаційні та керуючі.

На рисунку 1.3 представлена структура АСУТП, яка виконує інформаційні функції.

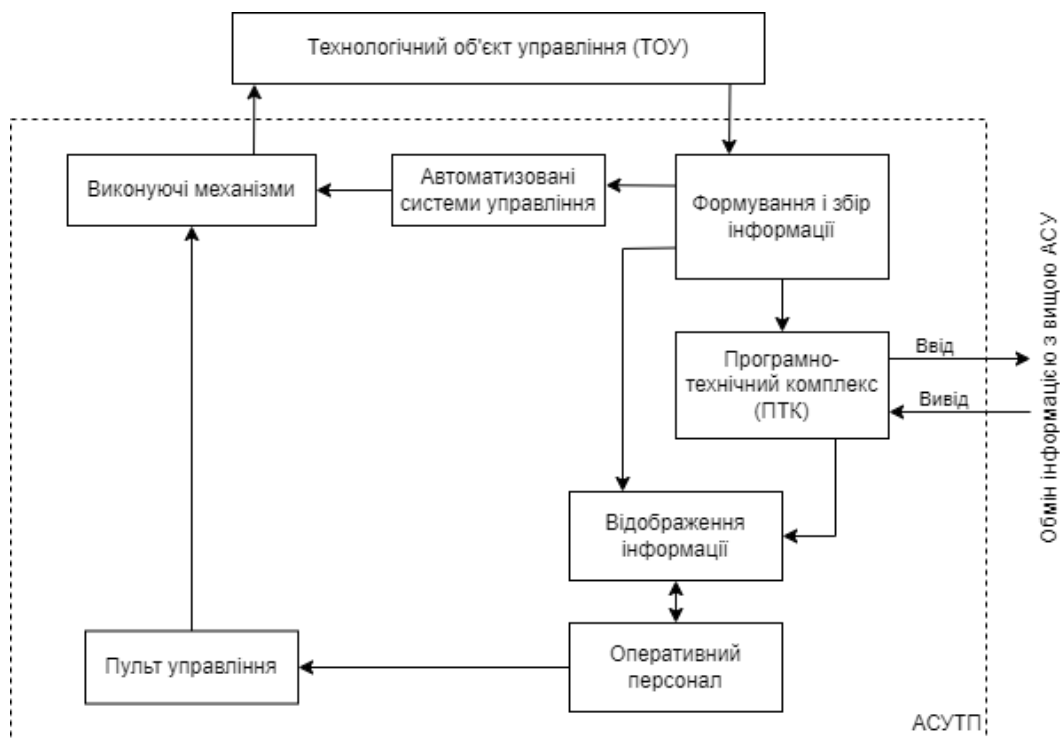


Рисунок 1.3 – Узагальнена структура системи управління технологічним процесом управління на хлібозаводі

Функціонування АСУТП здійснюється взаємодією її складових частин: інформаційного забезпечення, програмного забезпечення, технічного забезпечення, організаційного забезпечення та діями оперативного персоналу.

Система управління технологічним процесом на хлібозаводі в основному визначається структурою АСУТП кожного з відділів та підрозділів, їх функціями, комплексом технічних засобів управління з урахуванням потужності та необхідного режиму управління.

Структурну організацію АСУТП хлібозаводу слід розглядати як по горизонталі (де виділяються технологічні відділи та підрозділи хлібозаводу, які функціонують з точки зору завдань управління окремим технологічним процесом виробництва), так і

по вертикалі (де виділяються рівні управління технологічним процесом). На рисунку 1.4 наведена структура АСУТП хлібозаводу.

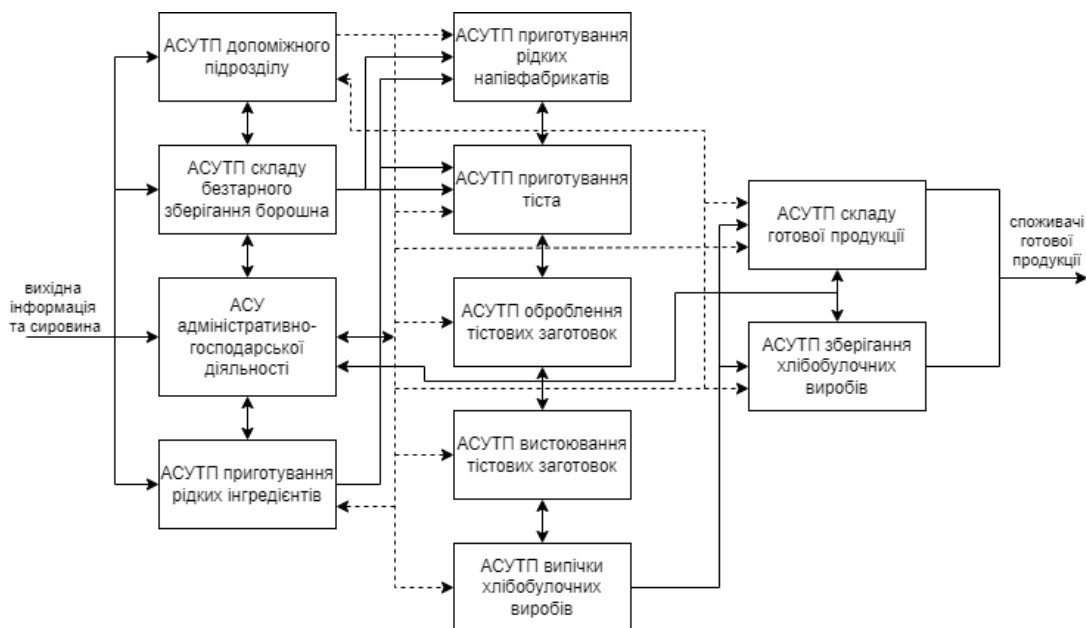


Рисунок 1.4 – Склад та принцип функціонування локальних підсистем управління  
ПрАТ “Прилуцький хлібозавод”

Технологічні відділи та підрозділи, як правило, складаються з ряду взаємопов'язаних технологічних апаратів, агрегатів, установок, в яких відбувається технологічний процес виробництва напівфабрикату, продукту або підготовки допоміжних матеріалів, енергоносіїв, теплоносіїв та інших матеріалів, а зв'язок між ними безперервними лініями.

Автоматизоване управління технологічними відділами або підрозділами здійснюється змінними технологами під керівництвом головного технолога та керівників хлібозаводу, а зв'язок між ними позначається штриховими лініями.

В останній час спостерігається тенденція до збільшення частки роботи оператора по управлінню об'єктами через інформаційні моделі (рис. 1.5), тобто віддалення оператора від об'єкту. Це свідчить про поступове виведення оператора з контуру управління і передачу його функцій технічним засобам. Однак оператор повинен контролювати роботу системи і приймати рішення в аварійних ситуаціях.



Рисунок 1.5 - Демонстрація зміни ролі оператора управління хлібозаводом

#### 1.2.4 Аналіз ергономічних проблем забезпечення якості продукції в системі автоматизованого управління

Проведені дослідження дозволили визначити основні засади автоматизованого управління та знайти перелік “вузьких” місць та проблем забезпечення ергономічної якості:

- створена автоматизована система значно спрощує діяльність оператора і зменшує фізичне навантаження;
- оператор працює з інформаційною моделлю через комп'ютерне робоче місце, де вона відображена у вигляді спеціальної мнемосхеми;
- незважаючи на високий рівень автоматизації, велика кількість параметрів, що підлягають контролю, робить роботу оператора складнішою;
- відсутність чітких інструкцій для різних ситуацій вимагає від оператора роботи в залежності від його досвіду та інтуїції;
- відсутність регламентованих точок контролю над правильністю дій оператора та автоматизованих процедур ускладнює передбачення надійності виробництва;

- неможливість оцінки впливу характеристик оператора (рівень підготовки, функціональний стан) та умов праці на ймовірність безпомилкової роботи системи керування.

Помилки оператора та технічні неполадки можуть спричинити серйозні економічні втрати, такі як:

- зупинка обладнання;
- зниження якості продукції;
- виробництво бракованої продукції.

Отже, ідентифіковані такі можливості для покращення якості автоматизованої системи управління:

- поліпшення алгоритмів роботи операторів та надання рекомендацій для організації роботи в залежності від конкретних виробничих умов;
- врахування впливу характеристик операторів та умов праці на якість роботи.

Аналіз показує необхідність розробки спеціальних моделей для оцінювання надійності виконання технологічних процесів з урахуванням різних впливових факторів.

### **1.3 Аналіз підходів до забезпечення ергономічної якості автоматизованих технологічних комплексів**

Для визначення актуальних завдань досліджень розглянемо стан предметної області "Ергономіка людино-машинних систем". Основні дослідження спрямовані на:

1. Теоретичні питання моделювання та забезпечення надійності людино-машинних систем:

- методологічні питання ергономіки [9-26];
- автоматизація оцінювання надійності людино-машинної взаємодії [25-30];
- оптимізація людино-машинної взаємодії [25, 26, 31-33];
- вирішення основних завдань ергономічного забезпечення автоматизованих систем [25, 26, 34-38];
- кібербезпека [39-41];
- інженерно-психологічні дослідження [42-45, 86];
- юзабіліті [46];
- ергономічна експертиза, експертиза проектів, обробка експертних оцінок [9, 25, 26, 47-51];
- навчання ергономіці та оптимізації виробництва [52-53].

2. Вирішення проблем забезпечення ергономічної якості автоматизованих систем різного типу:

- системи обробки інформації, контакт-центри, системи забезпечення якості програмного забезпечення [54-60];
- гнучкі виробничі системи [61-63];
- системи хімічних виробництв [64];
- системи управління судноплавством, авіацією, магістральними газопроводами [65-67];
- системи електронного навчання [68-79].

3. Розв'язання задач створення та моделювання автоматизованих систем різного призначення, робототехніка [80-85].

## 1.4 Висновки до розділу 1

Автоматизовані технологічні комплекси є складними людино-машинними системами, в яких незважаючи на зростаючий ступінь автоматизації роль людини-оператора, не тільки не зменшується, а й суттєво зростає.

Для пошуку ергономічних резервів доцільно використовувати людино-системний підхід до проектування автоматизованих технологічних комплексів.

Прийняття рішень по управлінню автоматизованих технологічних комплексів доцільно проводити на основі оцінок надійності людино-машинної взаємодії.

Оцінка надійності алгоритмів діяльності вимагає швидких розрахунків в режимі онлайн з використанням максимального рівня автоматизації процесів оцінювання.

## 2 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Оцінювання надійності людини оператора із використанням функціонально-структурної теорії ерготехнічних систем. Функціональні мережі

Оцінювання надійності діяльності людини-оператора вимагає аналізу алгоритмів її діяльності. Використовуючи функціонально-структурну теорію, розробленій професором А.І. Губінським, можна розробити функціональні мережі, які дозволяють моделювати та оцінювати різні аспекти роботи оператора [14-15, 25-26].

У функціональних мережах (ФМ) виділяються дві основні категорії типових функціональних одиниць (ТФО): функціонери та композиціонери [25-26].

Функціонери (табл. 2.1) відповідають за конкретні дії оператора, включаючи робочі операції, логічні операції, операції затримки та контроль функціонування. Вони представляють собою реальні дії, що виконуються оператором, обладнанням чи програмним забезпеченням [25-26].

Таблиця 2.1 – Приклади функціонерів [25-26]

Типові функціональні одиниці (ТФО)	Умовне позначення	Показники	
		Позначення	Визначення
Робоча операція		$B^1$ ( $B^0$ ) $M(T)$ $D(T)$	Вірогідність безпомилкового (помилкового) виконання операції Математичне очікування часу виконання операції Дисперсія часу виконання операції

Продовження таблиці 2.1

Типові функціональні одиниці (ТФО)	Умовне позначення	Показники	
		Позначення	Визначення
Альтернативна операція		$A_i$ $A_{ij}$ $M(T)$ $D(T)$	<p>Об'єктивна вірогідність вибору <math>i</math>-ї альтернативи</p> <p>Вірогідність того, що при необхідності вибору <math>i</math>-ї альтернативи вибрана <math>j</math>-а альтернатива</p> <p>Математичне очікування часу виконання операції</p> <p>Дисперсія часу виконання операції</p>
Контроль функціонування		$K^{11}$ $(K^{10})$ $K^{00}$ $(K^{01})$ $M(T)$ $D(T)$	<p>Умовна вірогідність того, що операція, яка перевіряється, при фактично правильному виконанні буде признана правильною (неправильною)</p> <p><math>(K^{11} + K^{10} = 1)</math></p> <p>Умовна вірогідність того, що операція, яка перевіряється, при фактично неправильному виконанні буде признана неправильною (правильною)</p> <p><math>(K^{00} + K^{01} = 1)</math></p> <p>Математичне очікування часу виконання операції</p> <p>Дисперсія часу виконання операції</p> <p>Цей функціонер має два виходи:  <math>\downarrow</math> - операція признана правильною;  <math>\rightarrow</math> - операція признана неправильною.</p>
Затримка		$M(T)$ $D(T)$	<p>Математичне очікування часу виконання операції</p> <p>Дисперсія часу виконання операції</p>


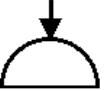



Продовження таблиці 2.1

Типові функціональні одиниці (ТФО)	Умове позначення	Показники	
		Позначення	Визначення
Контроль працездатності		$R^1 (R^0)$	Вірогідність відсутності (наявності) відмов в об'єкті, який контролюється
		$\Pi^{11} (\Pi^{10})$	Умовна вірогідність того, що при фактично працездатному стані технічних засобів, які перевіряються, вони будуть признані працездатними (непрацездатними) ( $\Pi^{11} + \Pi^{10} = 1$ )
		$\Pi^{00} (\Pi^{01})$	Умовна вірогідність того, що при фактично непрацездатному стані технічних засобів, які перевіряються, вони будуть признані непрацездатними (працездатними) ( $\Pi^{00} + \Pi^{01} = 1$ )
		$M(T)$ $D(T)$	Математичне очікування часу виконання операції Дисперсія часу виконання операції Цей функціонер має два виходи: ↓ - технічні засоби працездатні; → - технічні засоби непрацездатні.

Композиціонери (табл. 2.2) включають елементи, які управляють послідовністю операцій, такі як початок або кінець групи операцій, з'єднувачі та роз'єднувачі операцій, обмежувачі циклів тощо [25-26].

Таблиця 2.2 – Приклади композиціонерів [25-26]

Найменування	Умовні позначення	Характеристики
Стартер невизначений		Початок процесу
Фінішер невизначений		Закінчення процесу
Стартер "Г"		Обидві операції, які виконуються паралельно, починаються одночасно

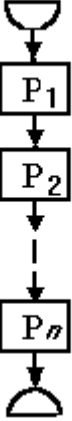
Продовження таблиці 2.2

Найменування	Умовні позначення	Характеристики
Стартер “АБО вкл.”		З двох функціонально можливих операцій може початися будь-яка або обидві разом
Стартер “АБО викл.”		З двох функціонально можливих операцій може початися тільки одна
Фінішер “І”		Комплекс паралельних операцій вважається закінченим, коли завершилися обидві операції
Фінішер “АБО викл.”		Комплекс паралельних операцій вважається закінченим, коли завершилась тільки одна операція
Фінішер “АБО вкл.”		Комплекс паралельних операцій вважається закінченим, коли завершилась принаймні одна операція
Циклоформував		При кожному вході в циклоформував підсумовується і заповнюється підсумкове число входів в циклоформував $l$ , при цьому, поки фактичне число входів менше заданого значення ( $l < m$ ), реалізується вихід 1 (продовження циклів), при досягненні $l = m + 1$ реалізується вихід 2 (перехід до наступної операції)
Циклообмежувач		При кожному вході в циклообмежувач підсумовується і заповнюється підсумкове число входів в циклообмежувач $l$ , при цьому, поки фактичне число входів менше заданого значення ( $l < m$ ), реалізується вихід 1 (дозвіл на продовження циклів), при досягненні $l = m + 1$ реалізується вихід 2 (цикли припиняються)

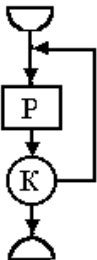
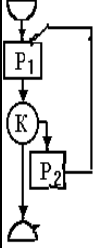
Кожна ТФО, має свої показники надійності та часу виконання. Це дозволяє визначити показники якості функціонування системи, такі як вірогідність безпомилкового виконання, математичне очікування часу виконання та дисперсію часу виконання.

Для типових блоків операцій, які називаються типовими функціональними структурами (ТФС), у роботах [16, 23, 25, 26] розроблені математичні моделі для оцінки надійності. Приклади цих моделей наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Моделі для оцінки надійності алгоритмічних процесів діяльності людини-оператора [16, 23, 25, 26]

Зміст типової функціональної структури (ТФС)	Схема ТФС	Показник	Розрахункова формула
1. Послідовне виконання робочих операцій, $RR$		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)	$D(X) = \sum_{i=1}^n D(X_i)$ $X = \{T, W, C\}$

Продовження таблиці 2.3

Зміст типової функціональної структури (ТФС)	Схема ТФС	Показник	Розрахункова формула
2. Циклова функціональна схема “Робоча операція з контролем функціонування без обмеження на кількість циклів”, $RK$		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)	$M(X) = (M(X_p) + M(X_k)) * M(L)$ $M(L) = \frac{1}{1 - (B^1 * K^{10} + B^0 * K^{00})}$ $X = \{T, W, C\}$
		Дисперсія часу виконання операції (трудомісткості, вартості)	$D(X) = D(L) * (M(X_p) + M(X_k))^2 + (D(X_p) + D(X_k)) * M(L)$ $D(L) = \frac{B^1 * K^{10} + B^0 * K^{00}}{(1 - (B^1 * K^{10} + B^0 * K^{00}))^2}$ $X = \{T, W, C\}$
Циклова ФС «Робоча операція з контролем функціонування, виправленням і повторенням робочої операції без обмеження на кількість циклів», $RKR$		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> $B^1 = B_1^1 * B_2^1; \quad B^0 = 1 - B^1$
		Дисперсія часу виконання операції (трудомісткості, вартості)	$D(T) = D(X_{p1}) + D(X_k) + [D(X_{p1}) + D(X_{p2}) + D(X_k)] * \frac{B_1^1 * K^{10} + B_1^0 * K^{00}}{1 - (B^1 * K^{10} + B^0 * K^{00})} + \frac{B_1^1 * K^{10} + B_1^0 * K^{00}}{(1 - (B^1 * K^{10} + B^0 * K^{00}))^2} * \frac{B_1^1 * K^{10} + B_1^0 * K^{00}}{1 - (B^1 * K^{10} + B^0 * K^{00})} * \frac{B_1^1 * K^{11} + B_1^0 * K^{01}}{(1 - (B^1 * K^{10} + B^0 * K^{00}))^2} * [M(X_{p1}) + M(X_{p2}) + M(X_k)]^2$

Для того щоб оцінити надійність всього алгоритму діяльності необхідно провести редукцію функціональної мережі, яка основана на заміні виявлених ТФС еквівалентними робочими операціями [16, 23, 25, 26]. Демонстрація принципу такої редукції наведена на рисунку 2.1.

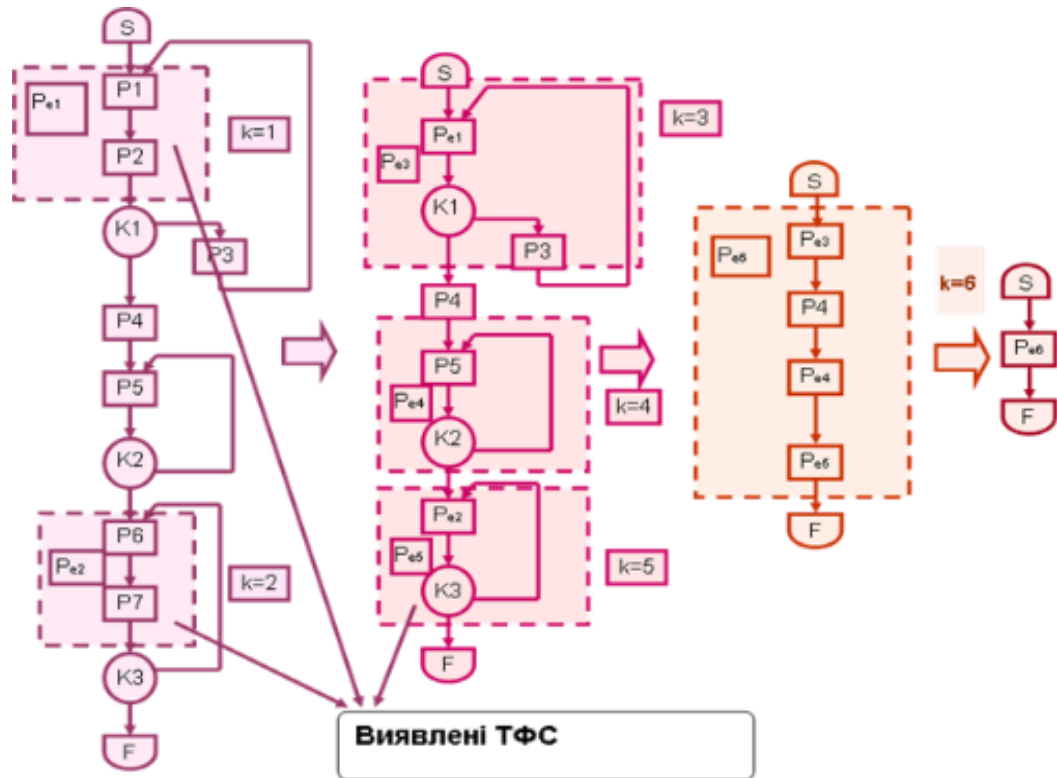


Рисунок 2.1 – Демонстрація принципу редукції функціональної мережі

## 2.2 Мета та задачі дослідження

Мета: Розробити інформаційну технологію для онлайн оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів.

Вхідні дані:

- документація та результати обстеження реальних автоматизованих технологічних комплексів;
- опис діяльності операторів реальних автоматизованих технологічних комплексів;

- робочі матеріали проекту «EAGER IMPRESS-U: Human Factors Modeling Online Research and Education Support Center (ORESC) for UKR-Baltic-US Network»;
- літературні джерела з проблематики функціонально-структурної теорії ерготехнічних систем;
- математичні моделі типових функціональних структур діяльності операторів, розроблені науковою школою професора Губінського А. І.;
- методологія редукції функціональних мереж;
- принципи побудови предикатних моделей для опису функціональних мереж.

#### Завдання:

- Розробити алгоритм автоматичного розпізнавання типових функціональних структур на основі предикатних моделей опису діяльності операторів.
- Розробити методику онлайн оцінювання надійності діяльності операторів, засновану на використанні математичних моделей та предикатних методів.
- Розробити інформаційну технологію онлайн оцінювання надійності діяльності оператора.
- Провести експериментальні дослідження розробленої інформаційної технології на реальних даних та проаналізувати достовірність результатів.

Запланований результат: Розроблене програмне забезпечення для онлайн оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів, яке може бути використане для практичних цілей в різних галузях промисловості та технологій.

### **2.3 Аналіз програмних засобів для оцінювання людино-машинної взаємодії та вибір методу ідентифікації ТФС для удосконалення автоматизації розрахунків**

Як бачимо основна проблема пов'язана з так званим розпізнаванням ТФС, на жаль, більшість наявних методів не забезпечують повну автоматизацію процесу редукції функціональної мережі. Для оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів використовуються різноманітні методи розпізнавання, які можуть бути класифіковані як експертні, Excel-технології та розпізнавання на основі логіки предикатів.

Експертний метод розпізнавання [25-26] включає в себе ручне оцінювання діяльності операторів кваліфікованими експертами. Експерти використовують свій досвід та знання, щоб аналізувати виконані алгоритми та приймати рішення щодо їхньої надійності. Цей метод може бути досить точним, але він обмежений обсягом даних, які може обробити людина за короткий період часу.

Excel-технології розпізнавання [17-18] використовуються для автоматизації процесу оцінювання. За допомогою макросів та функцій Excel можна реалізувати систему, яка обробляє дані та генерує звіти на основі певних критеріїв надійності. Цей підхід дозволяє ефективно аналізувати великі обсяги даних, проте він може бути обмежений визначеними шаблонами та обробкою складних взаємодій.

Розпізнавання на основі логіки предикатів [25-26] використовує математичні та логічні вирази для автоматизованого аналізу алгоритмів. Цей підхід дозволяє враховувати різні аспекти надійності, використовуючи логічні правила та умови. Такий метод може бути більш гнучким у порівнянні з експертним методом, але вимагає відповідної експертизи в області формулювання логічних правил.

Критеріями оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів, повинні бути:

- Можливість онлайн оцінок. Цей критерій визначає, наскільки система здатна забезпечувати неперервний моніторинг та оцінку діяльності операторів у реальному часі. Це важливо для оперативного реагування на

зміни в робочому середовищі. Системи, які дозволяють онлайн оцінки, забезпечують швидку відгуковість і можливість оперативно вносити корективи у роботу.

- Автоматизація. Оцінка рівня автоматизації вказує на те, наскільки система здатна виконувати процеси оцінювання без значного втручання людини. Чим вищий рівень автоматизації, тим менше потрібно людських ресурсів для проведення оцінок, що може призводити до ефективнішого використання часу та ресурсів.
- Точність. Точність визначає, наскільки добре система виконує завдання оцінювання. В контексті оцінювання діяльності операторів, це може включати в себе правильність класифікації та відповідність результатів бажаним критеріям. Висока точність свідчить про ефективність системи в роботі з реальними даними та у різних умовах.
- Трудозатрати. Оцінка трудозатрат визначає, наскільки система ефективна у використанні ресурсів, таких як час та працівників. Системи, які дозволяють знижувати трудозатрати, можуть бути більш економічно ефективними. Однак, важливо зберігати баланс між автоматизацією та збереженням високої точності.

Для обґрунтування вибору методу розпізнавання функціональних мереж в системі оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів був використаний метод аналізу ієрархій (МАІ) [25, 34]. Цей метод дозволяє структурувати та оцінювати критерії вибору з різних аспектів, що важливо для забезпечення ефективності та точності оцінювання [25, 34].

В результаті першого етапу застосування МАІ була одержана ієрархія зображена на рисунку 2.2.



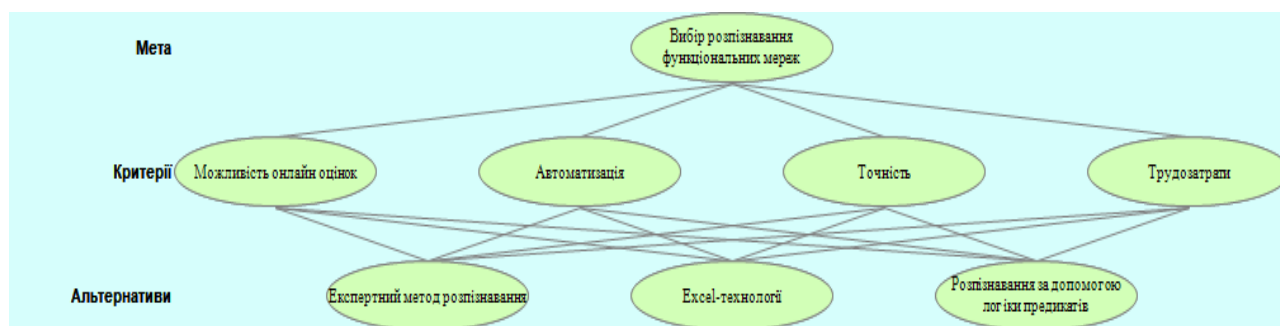


Рисунок 2.2 – Ієрархія після виконання першого етапу

Виконання другого етапу пов'язане із заповненням нижчеприведених таблиць 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8 за методом парних порівнянь із застосуванням шкали відносної важливості. В результаті обробки таблиць одержуємо власні вектора, які визначають ваги відповідних дуг.

Таблиця 2.4 – Матриця парних порівнянь критеріїв

	Можливість онлайн оцінок	Автоматизація	Точність	Трудовитрати
Можливість онлайн оцінок	1	1/3	1/2	1/3
Автоматизація	3	1	1	1
Точність	2	1	1	2
Трудозатрати	3	1	1/2	1

Таблиця 2.5 – Матриця парних порівнянь альтернатив за можливістю онлайн оцінок

	Експертний метод розпізнавання	Ексел-технології	Розпізнавання за допомогою логіки предикатів
Експертний метод розпізнавання	1	1	1/7
Ексел-технології	1	1	1/5
Розпізнавання за допомогою логіки предикатів	7	5	1

Таблиця 2.6 – Матриця парних порівнянь альтернатив за автоматизацією

	Експертний метод розпізнавання	Excel-технології	Розпізнавання за допомогою логіки предикатів
Експертний метод розпізнавання	1	1/5	1/7
Excel-технології	5	1	1
Розпізнавання за допомогою логіки предикатів	7	1	1

Таблиця 2.7 – Матриця парних порівнянь альтернатив за точністю

	Експертний метод розпізнавання	Excel-технології	Розпізнавання за допомогою логіки предикатів
Експертний метод розпізнавання	1	1/3	1/3
Excel-технології	3	1	1/2
Розпізнавання за допомогою логіки предикатів	3	2	1

Таблиця 2.8 – Матриця парних порівнянь альтернатив за точністю

	Експертний метод розпізнавання	Excel-технології	Розпізнавання за допомогою логіки предикатів
Експертний метод розпізнавання	1	1/5	1/6
Excel-технології	5	1	1
Розпізнавання за допомогою логіки предикатів	6	1	1

Результатом третього етапу є визначення ваг альтернатив (рис. 2.3).

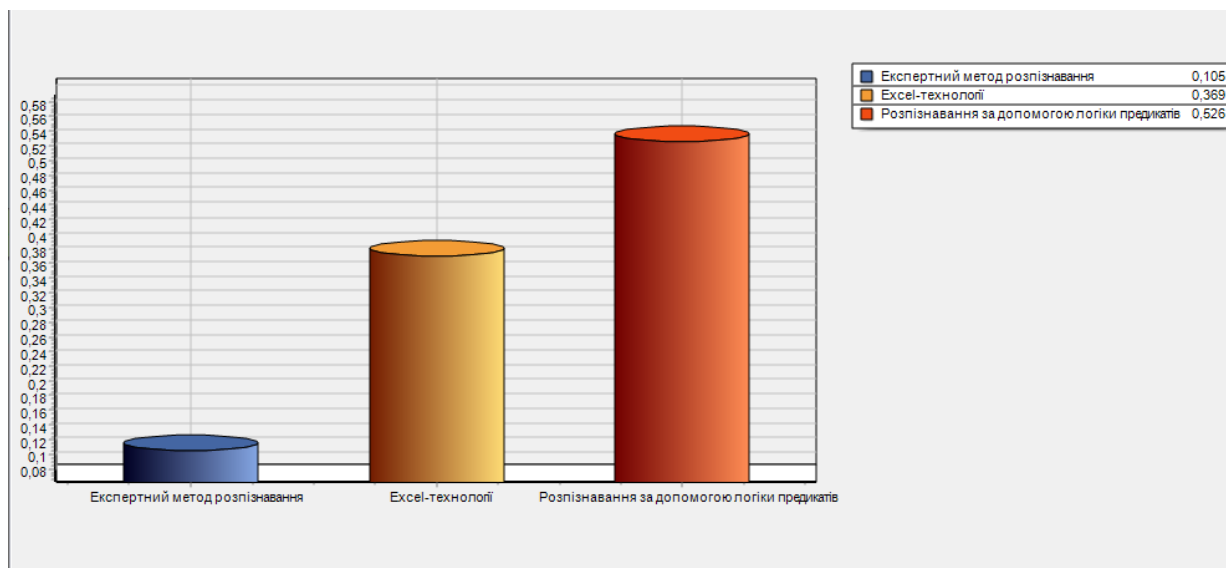


Рисунок 2.3 – Візуалізація результатів обчислень

У підсумку аналізу критеріїв вибору методу розпізнавання функціональних мереж для системи оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів, визначено, що розпізнавання за допомогою логіки предикатів має вагу 0.526, що вище в порівнянні з експертним методом розпізнавання (0.105) та Excel-технологіями (0.369).

Отримані вагові коефіцієнти свідчать про те, що розпізнавання за допомогою логіки предикатів є найбільш обґрунтованим та ефективним вибором для наших конкретних умов та завдань. Цей метод дозволяє ефективно враховувати комплексні аспекти діяльності операторів, забезпечуючи високу точність, гнучкість, та можливість автоматизації.

## 2.4 Висновки до розділу 2

Оцінювання надійності операторської діяльності доцільно проводити із використанням методології функціональних мереж проф. Губінського А.І.

Існуючі програмні засоби використовують прийоми редукції функціональних мереж, коли виявлені типові функціональні мережі замінюються еквівалентними робочими операціями.

На жаль, наявні системи автоматизації розрахунків не мають механізму автоматичної ідентифікації ТФС, або виконані на застарілих засобах.

Для забезпечення онлайн розрахунків доцільно використовувати спеціальну мову опису ФМ орієнтовану на використання апарату теорії предикатів.

## 3 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 3.1 Структурно-функціональне проектування

Структурно-функціональне проектування є важливим етапом у розробці систем, програм або будь-яких інших складних продуктів. Цей підхід базується на аналізі і розборі функцій, які виконує система, та їх взаємозв'язку для досягнення певних цілей. Одним із інструментів, що використовується для структурно-функціонального проектування, є методологія IDEF0.

Метод IDEF0 (Integrated DEFinition for Function Modeling) є графічним методом, призначеним для моделювання функцій системи. Він надає структурований підхід до аналізу та опису функцій, що дозволяє зрозуміти суть та взаємозв'язки між ними. Основною метою використання IDEF0 є розкриття функціональної структури системи та забезпечення чіткого усвідомлення всіма учасниками процесу щодо того, як система працює.

Метод IDEF0 включає функціональні блоки як головну складову частину. Функціональні блоки відображають конкретну функцію системи та її взаємозв'язки з іншими функціями. У кожного функціонального блоку є вхідні та вихідні потоки, які представляють дані або інформацію, що обробляються або передаються блоком. Ці потоки відображаються за допомогою стрілок, які з'єднують функціональні блоки та показують напрямок руху інформації. Метод IDEF0 також надає можливість врахування механізмів та управління в рамках функціонального аналізу. Механізми представляють собою ресурси, процеси або процедури, які використовуються для виконання функцій системи. Вони можуть включати в себе різноманітні технології, обладнання, людські ресурси та інші елементи, необхідні для здійснення операцій.

На рисунку 3.1 зображена контекстна діаграма IDEF0. Об'єктом є інформаційна технологія оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів. Входами в об'єкт є опис алгоритму діяльності оператора та характеристики безпомилковості та часу виконання операцій. Механізмами об'єкту є користувач, програмне та апаратне забезпечення. Керується математичними

моделям та узагальненим структурним методом. На виході об'єкту отримуємо розрахунки ймовірності безпомилкового виконання та часу виконання операцій оператором.

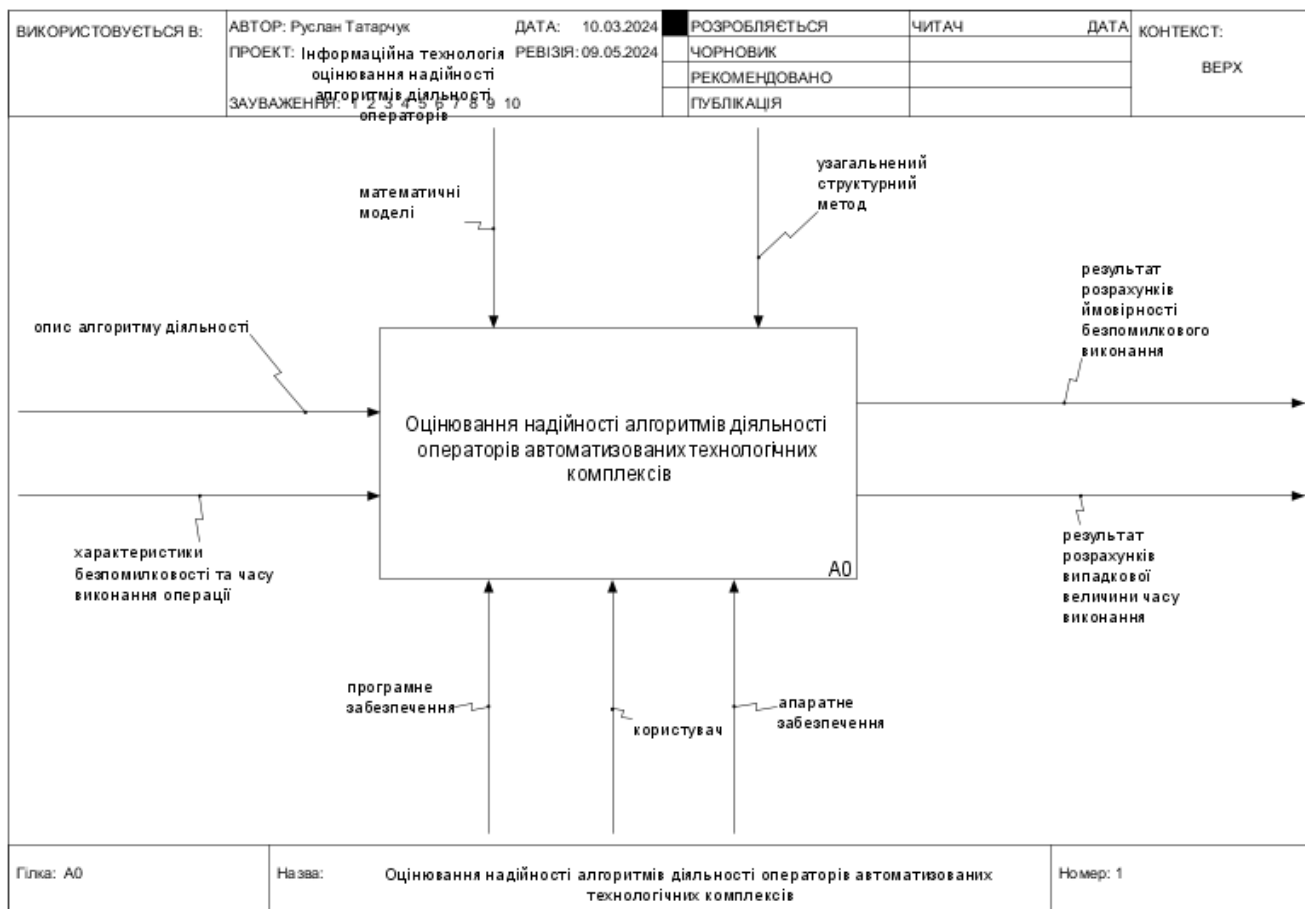


Рисунок 3.1 – Контекстна діаграма IDEF0

Для кращого розуміння процесу, контекстну діаграму IDEF0 було декомповано (рис 3.2). Діаграма IDEF0 декомпована на наступні функціональні блоки:

- побудова функціональної мережі за алгоритмом діяльності оператора;
- введення опису ФМ в інформаційну систему у вигляді ТФО;
- виявлення ТФС;
- згортання ТФС;
- розрахунок ймовірності безпомилкового виконання;
- розрахунок випадкової величини часу виконання.

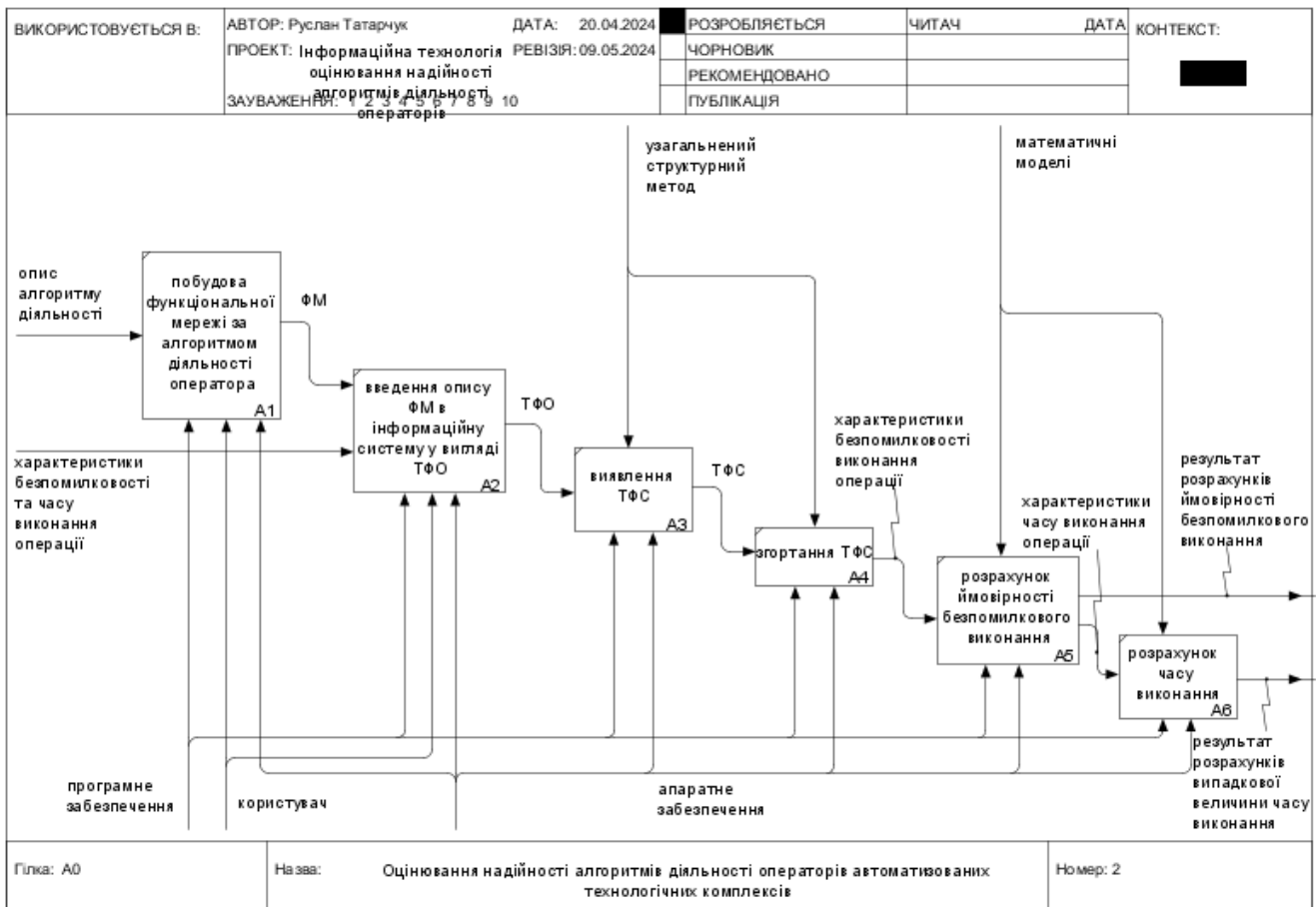


Рисунок 3.2 – Контекстна діаграма декомпозиції

### 3.2 Моделювання варіантів використання

Моделювання варіантів використання – це ключовий етап у розробці будь-якого продукту або послуги. Цей процес передбачає аналіз можливих сценаріїв використання продукту або послуги користувачами з різних граней. Він дозволяє розробникам отримати глибоке розуміння того, як їхні рішення можуть впливати на кінцевих користувачів та як їх можна оптимізувати для досягнення найкращого результату.

Перший крок у моделюванні варіантів використання полягає в ідентифікації ключових акторів або груп користувачів, які будуть взаємодіяти з продуктом або послугою. Це можуть бути кінцеві користувачі, адміністратори, розробники, або будь-які інші зацікавлені сторони.

Далі важливо визначити різні сценарії використання, які можуть виникнути залежно від потреб та цілей користувачів. Це можуть бути стандартні сценарії, такі як реєстрація нового користувача, виконання оплати, або редагування профілю, або більш складні, такі як використання продукту для вирішення конкретних проблем або досягнення конкретних цілей.

Отже, на основі моделювання варіантів використання розробники можуть приймати рішення щодо оптимізації продукту або послуги для кращого задоволення потреб користувачів. Це може включати вдосконалення інтерфейсу користувача, додавання нових функцій або виправлення існуючих проблем. UML діаграма проекту зображена на рисунку 3.3.

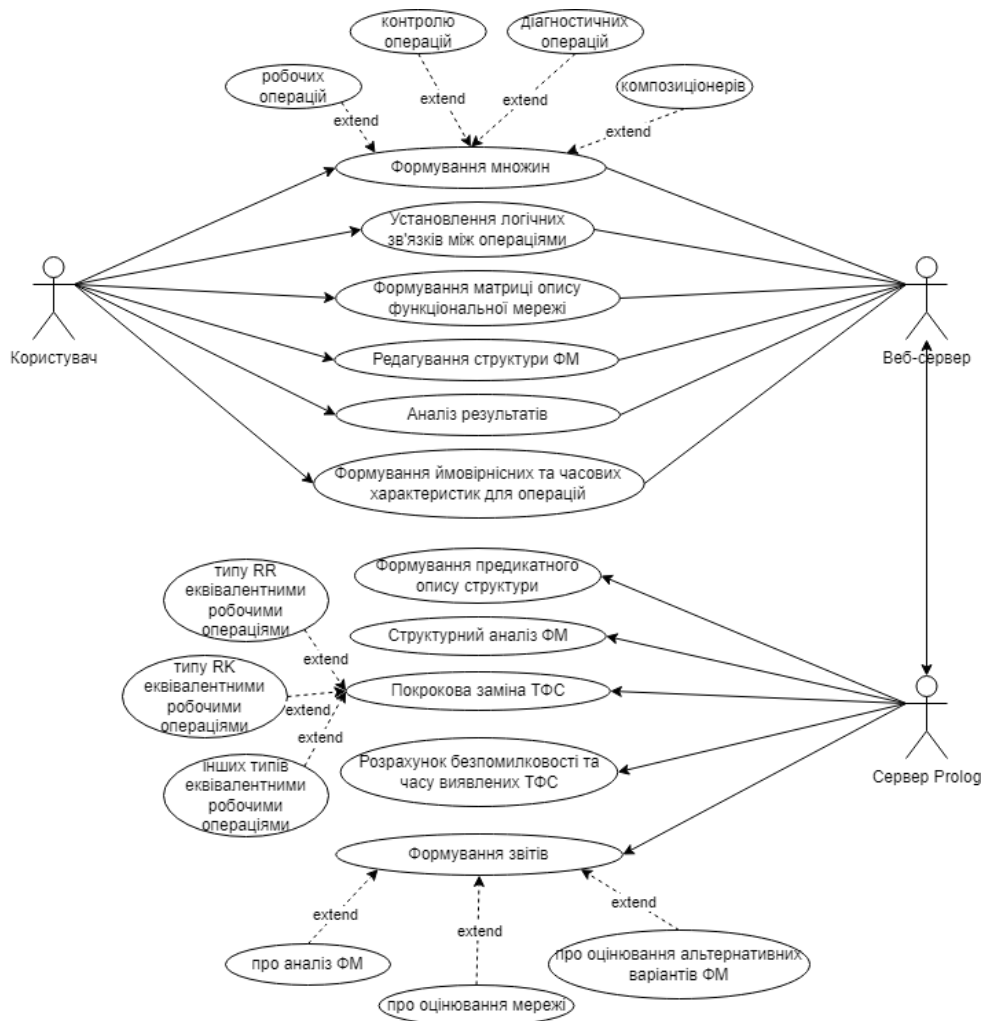


Рисунок 3.3 – UML діаграма проекту



### 3.3 Висновки до розділу 3

Для оцінки діяльності оператора необхідно сформулювати відповідний запит на сайті та забезпечити синтаксичний аналіз опису ФМ, а також провести редукцію замінюючи ТФС еквівалентними робочими операціями.

Для проведення розрахунків доцільно використовувати існуючі вірогіднісні моделі розроблені науковою школою проф. Губінського А.І.

## 4 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ АЛГОРИТМІВ ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

### 4.1 Розробка моделі опису і аналізу функціональної мережі для виявлення типових функціональних структур діяльності оператора

Для побудови методу аналізу і редукції ФМ використаємо принцип предикатного опису зв'язків між окремими операціями ФМ [25-26].

Побудуємо опис правил редукції ТФС і ТФО.

Так як кожна ТФС є описом деякої ФМ, то вона може бути записана у вигляді виразу мови опису ФМ, наприклад, для структури  $RR$  (послідовність робочих операцій) такий опис має вигляд:

$$R(x, y, n) \& R(y, z, 1) \quad (4.1)$$

де  $x, y, z$  – змінні (номера ТФО);  $n$  – змінна (кількість прямих і зворотніх зв'язків, які приходять на ТФО  $x$ ).

Опис еквівалентної ТФО, що отримується після редукції ТФС, має вигляд:

$$R(f_{RR}(x, y), z, n) \quad (4.2)$$

де  $f_{RR}(x, y)$  – результат операції редукції  $x$  і  $y$  за правилом  $f_{RR}$ , ім'я еквівалентної ТФО.

Для структури  $RK$ :

$$\begin{aligned} R(x, y, n) \& K(y, z, x, 1) \\ R(f_{RK}(x, y), z, n) \end{aligned} \quad (4.3)$$

При цьому відбувається логічний перехід від формул, що описують ТФС, до формул, що описують еквівалентні ТФО: кожного разу, коли формула, що описує ТФС, є істинною (виконується), формула, що описує еквівалентну ТФО, також є істинною, і тому виконуються імплікації:

$$\forall x \forall y \forall z \forall n (R(x, y, n) \& R(y, z, 1) \rightarrow R(f_{RR}(x, y), z, n)) \quad (4.4)$$

$$\forall x \forall y \forall z \forall n (R(x, y, n) \& K(y, z, x, 1) \rightarrow R(f_{RK}(x, y), z, n))$$

Розглянемо аксіому формальної системи аналізу ФМ  $RR$ , наприклад:

$$R(x, y, n) \& R(y, z, 1) \rightarrow R(f_{RR}(x, y), z, n) \quad (4.5)$$

Введемо для позначення факту отримання еквівалентної ТФО для ТФС  $RR$ , булеву змінну  $\alpha_{RR}$ : вона істинна, якщо знайдено ТФО, еквівалентну послідовним робочим операціям.

Тоді формула:

$$R(f_{RR}(x, y), z, n) \rightarrow \alpha_{RR} \quad (4.6)$$

Нехай є ФМ, що містить послідовність робочих операцій:

$$R(x_0, y_0, n_0); R(y_0, z_0, 1) \quad (4.7)$$

Покажемо, як за допомогою правила резолюції буде доведено істинність  $\alpha_{RR}$ . Уявимо безліч формул в диз'юнктивній формі, що еквівалентно кон'юнкції цих формул:

$$\begin{aligned} &R(f_{RR}(x, y), z, n) \vee \neg R(x, y, n) \vee \neg R(y, z, 1) \\ &\alpha_{RR} \vee \neg R(f_{RR}(x, y), z, n) \\ &R(x_0, y_0, n_0); R(y_0, z_0, 1) \end{aligned} \quad (4.8)$$

Доказ  $\alpha_{RR}$  полягає в спростуванні (доказі хибності) запереченні  $\neg \alpha_{RR}$ .

Безліч кроків логічного висновку, які полягають у застосуванні правила резолюції, має такий вигляд:

$$\begin{aligned} &\neg \alpha_{RR}; \alpha_{RR} \vee \neg R(f_{RR}(x, y), z, n) \Rightarrow \neg R(f_{RR}(x, y), z, n) \\ &\neg R(f_{RR}(x, y), z, n); R(f_{RR}(x, y), z, n) \vee \neg R(x, y, n) \vee \neg R(y, z, 1) \\ &\quad \Rightarrow \neg R(x, y, n) \vee \neg R(y, z, 1) \\ &\vee \neg R(x, y, n) \vee \neg R(y, z, 1); R(x_0, y_0, n_0) \Rightarrow \neg R(y_0, z_0, 1) \\ &\quad \neg R(x_0, y_0, n_0); R(y_0, z_0, 1) \Rightarrow NIL \end{aligned} \quad (4.9)$$

Таким чином, для знаходження ТФС  $RR$  необхідно довести  $\alpha_{RR}$  або, що еквівалентно спростувати  $\neg\alpha_{RR}$ .

Аналогічно, для інших ТФС, для знаходження яких необхідно ввести відповідні їм правила, наприклад:

$$R(f_{RK}(x, y), z, n) \rightarrow \alpha_{RK}; R(f_{RKR}(x, y), z, n) \rightarrow \alpha_{RKR} \quad (4.10)$$

де:

- $RK, RKR$  – позначення ТФС,
- $f_{RK}, f_{RKR}$  – позначення правил перетворення до типових операцій,
- $\alpha_{RK}, \alpha_{RKR}$  – булеві змінні, істинні в тому випадку, якщо має місце перетворення відповідних структур ( $RK, RKR$ ) до відповідним їм типовим операціям за правилами редукції.

Нехай є деяка ФМ, що містить якусь (одну із багатьох) ТФС. Тоді її знаходження полягає у доказі формули:

$$\alpha_{RR} \vee \alpha_{RK} \vee \alpha_{RKR} \quad (4.11)$$

де  $\alpha_{RR}, \alpha_{RK}, \alpha_{RKR}$  – список булевих змінних, істинних в тому випадку, якщо є відповідна редукція ТФС до ТФО.

Доказ цієї формули методом резолюції полягає у спростуванні заперечення цієї формули:

$$\neg(\alpha_{RR} \vee \alpha_{RK} \vee \alpha_{RKR}) \quad (4.12)$$

Оскільки, відповідно до принципу повноти множини ТФС, отримана після редукції ТФС до ТФО еквівалентна ФМ знову повинна містити ТФС (якщо вона містить число ТФО, більше одиниці), то на її основі знову може бути здійснено спростування вищенаведеної формули.

Цей процес може повторятися доти, доки:

- вся ФМ не буде згорнута до еквівалентної операції;
- ФМ містить нетипові структури.

Таким чином, спосіб аналізу ФМ полягає:

1. В багаторазовому застосування методу резолюцій до ФМ з метою спростування формули (4.12);
2. У перевірці числа ТФО, що входять в ФМ: якщо воно дорівнює 1, то процес закінчено;
3. У перевірці того факту, що подальша редукція неможлива, так як ФМ складається не з типових структур. Ця перевірка здійснюється наступним чином: якщо на якомусь кроці спростування «не спрацювало», то це означає, що типових структур більше немає.

## 4.2 Розробка підходу до реалізації інформаційної технології

Розроблена в п. 4.1 модель опису ФМ і механізми виявлення редукції ТФС можуть бути математичною основою для реалізації процесу оцінювання показників надійності діяльності операторів.

Виходячи з висунутих в концепції аналізу і оцінювання ергономічних рішень [7], інформаційна технологія повинна передбачати наступні підсистеми:

- Підсистема F – формування запиту і синтезу звітів (задання інформації про структуру алгоритму діяльності, показники надійності виконання окремих операцій). Вимоги:
  - онлайн доступність в мережі Інтернет до всіх зацікавлених користувачів,
  - формування формалізованих описів, достатніх до реалізації процедур оцінювання,
  - передача формалізованих описів ФМ та показників надійності і результатів оцінювання.
- Підсистема O – реалізації оцінювання (автоматична редукція структур алгоритму діяльності та оцінювання показників надійності). Вимоги:

наявність системи правил, що забезпечують синтаксичний аналіз функціональних мереж довільного типу та процедур заміни виявлених типових функціональних структур робочими операціями з еквівалентними характеристиками, можливість одночасного виконання завдань, що надходять від різних користувачів

Спрощена схема взаємодії між підсистемами наведена на рисунку 4.1.

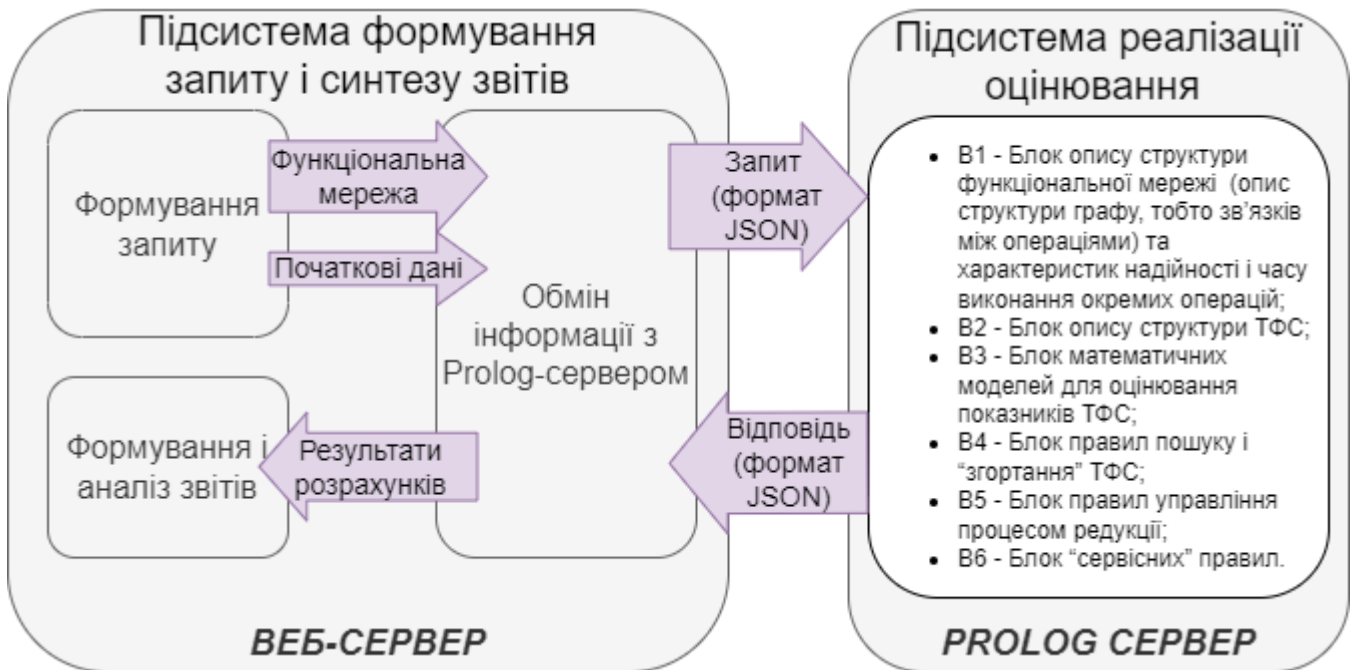


Рисунок 4.1 – Демонстрація підходу до реалізації інформаційної системи онлайн оцінювання надійності алгоритму діяльності

### 4.3 Розробка підсистеми формування запитів і синтезу звітів про аналіз надійності реалізації алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів

#### 4.3.1 Розробка принципів побудови підсистеми формування запитів і синтезу звітів про аналіз надійності реалізації алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів

Пропонується наступний підхід до побудови підсистеми:

- Користувачу, який бажає оцінити надійність алгоритмів діяльності пропонується спеціальний інтерфейс, який дозволяє:
  - задати структуру алгоритму функціонування;
  - ввести показники надійності і часу виконання окремих операцій.
- При побудові моделі ФМ передбачається можливість вибору типу операцій та композиціонерів, що складають ФМ (в наступних версіях перелік буде розширюватись):
  - робочі операції;
  - операції контролю функціонування;
  - стартер;
  - фінішер.
- Моделювання логічних і часових зв'язків між операціями виконуються за допомогою задання адрес переходів на графі ФМ.
- Кількість прямих і зворотніх зв'язків для кожної операції підраховується автоматично без участі користувача.
- Введення показників надійності і часу виконання операцій виконується через спеціальний інтерфейс, який регламентує номенклатуру цих показників.
- До показників, що вводяться для операцій відносяться:
  - Для робочої операції:
    - $B^1$  – ймовірність безпомилкового виконання;
    - $M(T)$  – математичне сподівання;
    - $D(T)$  – дисперсія;
  - Для операції контролю функціонування:
    - $K^{11}$  – ймовірність того, що фактично правильне виконання буде визнано правильним;
    - $K^{00}$  – ймовірність того, що фактично неправильне виконання буде визнано неправильним;
    - $M(T)$  – математичне сподівання;

- $D(T)$  – дисперсія;
- Для композиціонерів (стартери і фінішери) числові показники не задаються, оскільки це логічні операції, які описують умови початку і закінчення процесів.

Введені таким чином дані забезпечують формування:

- моделі процесу, що оцінюються;
- початкових даних, для окремих операцій.

Таким чином, формується спеціальний JSON файл, який в подальшому необхідно буде передати на підсистему оцінювання.

Результати оцінювання для візуалізації користувачу подаються через спеціальний інтерфейс, який дозволяє аналізувати результати.

#### **4.3.2 Розробка інтерфейсу для формування запитів на оцінювання надійності алгоритму діяльності**

Основним елементом інтерфейсу є форма (рис. 4.2), в яку вводиться опис функціональної мережі. Форма складається з двох таблиць. В першій таблиці вводиться структура ФМ, а в другій вводяться характеристики для кожної типової функціональної одиниці.



## Reduction

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1								
Work oper:	2	R1							
Work oper:	3	R2							
Finisher	4		0						

### Characteristics

NameTFU	NumTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Work operation	2					
Work operation	3					

NameTFU - Name operation

NumTFU - Number operation

DesTFU - Designation of operation

Num01 - Number when the condition is fulfilled

Num02 - Number when the condition is not met by the FC

Num03 - Number in case of non-fulfillment by CE

Num04 - Number for continuation of the cycle

Num05 - Number to exit the cycle

Num06 - Number of repetitions in the cycle

Num Conn - Number of connections

B1 - Probability of error-free operation execution

K11 - Probability that the operation to be checked, when actually performed correctly, will be recognized as correct

K00 - Probability that the operation being checked, when actually performed incorrectly, will be recognized as incorrect

Mt - Mathematical expectation of the operation execution time

Dt - Dispersion of the execution time

OldDesTFU - Old designation operation

NewDesTFU - New designation operation

Рисунок 4.2 – Форма введення ФМ та характеристик надійності

На початку опису ФМ (у першому рядку таблиці) автоматично формується стартер. В кінці опису ФМ (у останньому рядку таблиці) автоматично формується фінішер.

В кінці кожного рядка, який описує конкретну операцію, є червона кнопка, яка при натисканні видаляє рядок. При видаленні рядку номер наступних операцій зменшується на одиницю.

Під таблицями розміщені три кнопки: "Add row", "Collapse" та "Clear/Refresh tables". При натисненні кнопки "Add row" відбувається додавання нової операції перед "Фінішером".

При натисканні кнопки "Collapse" перевіряється чи всі активні поля заповнені в таблицях, якщо ні, то з'являється модальне вікно з повідомленням (рис. 4.3) про те, що потрібно заповнити всі активні поля, а якщо поля заповнені, то спочатку

відбувається запис даних з полів в JSON, після чого відправляється запит на Prolog-сервер.

При натисканні кнопки "Clear/Refresh tables" з'являється модальне вікно для підтвердження дії очищення (оновлення) таблиць (рис. 4.4), при підтвердженні таблиці оновлюються до початкового стану.

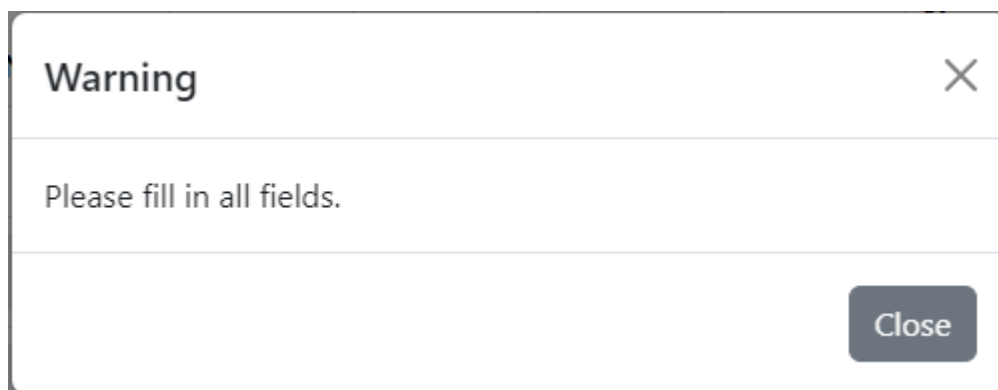


Рисунок 4.3 – Модальне вікно з повідомленням про незаповнені поля в таблицях

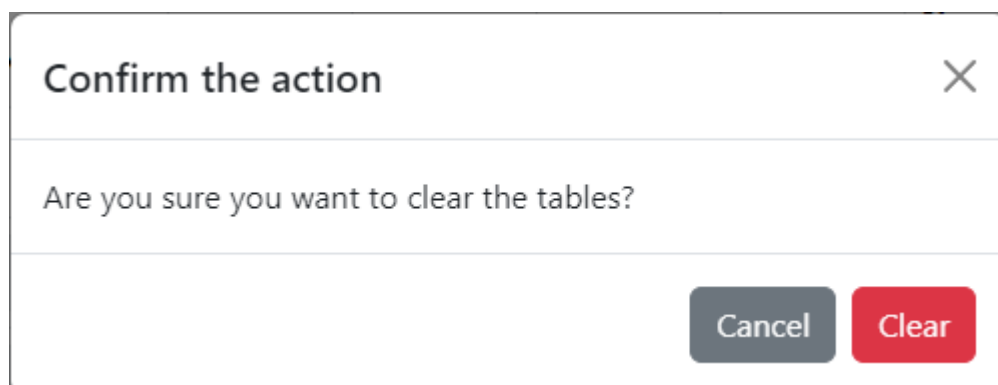


Рисунок 4.4 – Модальне вікно з підтвердженням дії очищення таблиць

В першій таблиці при зміні з однієї операції на іншу (рис. 4.5) деактивуються/активуються поля для вводу, змінюється позначення операції і змінюється назва у відповідній операції в другій таблиці, а також так само деактивуються/активуються поля.

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1								
Work oper:	2	R1							
Functioning	3	K1							
Work operation	4		0						

## Characteristics

NameTFU	NumTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Work operation	2					
Functioning control	3					

Add row

Collapse

Clear/Refresh tables

Рисунок 4.5 – Вибір операції

### 4.3.3 Розробка інтерфейсу для візуалізації процесу і результатів оцінювання

Для візуалізації результатів отриманих з підсистеми оцінювання (Prolog серверу) розроблена система спеціальних таблиць, яка включає таблиці двох типів:

- комплекс таблиць, які демонструють результати редукції ФМ на кожному кроці (демонстрація результатів одного кроку згорання показана на рис. 4.6 і 4.7);
- таблиці остаточних результатів (відповідає результатам, отриманим на останньому кроці редукції, приклад наведений на рис. 4.8).

## Step 1

Reduction in 1 step

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re1	4						1
Work operation	4	R2	5						1
Finisher	5		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re1	0.998			10.611	7.653
Work operation	4	R2	0.950			4.000	0.500
Finisher	5						

Рисунок 4.6 – Редукція на першому кроці

## Step 1

Reduction in 1 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
R1	2	3		RK	Re1
K1	3	4	2	RK	Re1

### Structure

Рисунок 4.7 – Згорнуті операції на кроці

## Step 2

Reduction in 2 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
Re1	2	4		RR	Re2
R2	4	5		RR	Re2

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re2	5						1
Finisher	5		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re2	0.948			14.611	8.153
Finisher	5						

Рисунок 4.8 – Таблиці остаточних результатів

#### 4.4 Розробка підсистеми оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів

##### 4.4.1 Опис загального підходу до розробки Prolog технології оцінювання алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів

Prolog технологія забезпечує можливість:

- автоматичного виявлення і розпізнавання типових функціональних структур;

- розрахунку показників безпомилковості і часу виконання для виявлення ТФС;
- заміни ТФС еквівалентними робочими операціями з розрахованими значеннями показників безпомилковості і часу виконання.

При цьому забезпечується безперервність процесу до повного згорання ФМ.

Для виконання такої редукції пропонуємо включити в Prolog програму систему наступних правил:

- $V_1$  - Блок опису структури функціональної мережі (опис структури графу, тобто зв'язків між операціями) та характеристик надійності і часу виконання окремих операцій;
- $V_2$  - Блок опису структури ТФС;
- $V_3$  - Блок математичних моделей для оцінювання показників ТФС;
- $V_4$  - Блок правил пошуку і “згорання” ТФС;
- $V_5$  - Блок правил управління процесом редукції;
- $V_6$  - Блок “сервісних” правил (управління взаємодією з користувачами, що звертаються з запитами, тощо).

#### 4.4.2 Розробка Prolog технології, виявлення в структурі опису алгоритму функціонування послідовних робочих операцій та їх редукції

Розглянемо опис правила редукції ТФС «Дві послідовні робочі операції» (Лістинг 4.1).

Лістинг 4.1 - Правило редукції ТФС «Дві послідовні робочі операції»

```
reduce_RR(SessionId, I) :-
    structure(SessionId, I, "R", X, Y, N),
    structure(SessionId, I, "R", Y, Z, 1),
    retract(structure(SessionId, I, "R", X, Y, N)),
    retract(structure(SessionId, I, "R", Y, Z, 1)),
    assert(structure(SessionId, I, "R", X, Z, N)),
    calc_RR(SessionId, I, X, Y),
    reduce_RR(SessionId, I);
!.
```

Це правило виконується наступним чином:

- 1) Параметри, що надходять для згортки: *SessionId* – ідентифікація сесій, для того щоб факти декількох користувачів не переплутувались між собою, *I* – крок, на якому виконується згортка.
- 2) В базі даних здійснюється пошук факту "*structure(SessionId, I, "R", X, Y, N)*", тобто робочої операції, у якої:
  - "R" – позначення робочої операції;
  - X – номер операції;
  - Y – номер наступної операції;
  - N – кількість зв'язків, які приходять на поточну операцію.
- 3) В базі даних здійснюється пошук факту "*structure(SessionId, I, "R", Y, Z, 1)*", де:
  - Y – номер операції, яка слідує за операцією X;
  - Z – номер наступної операції;
  - 1 – означає, що поточна операція має зв'язок лише з попередньою операцією.

Механізм пошуку за зразком і механізм повернення забезпечуються автоматичним перебором та знаходженням заданої послідовності відношень, якщо вони містяться в базі даних фактів, в іншому випадку правило не виконується.

Розроблене нами правило передбачає рекурсивне виконання сукупності локальних правил:

- 4) Видалення з опису структури алгоритму функціонування старого факту про першу робочу операцію (яка тепер у сукупності з другою робочою операцією буде замінена на еквівалентну робочу операцію) – *"retract(structure(SessionId, I, "R", X, Y, N))"*;
- 5) Видалення з опису структури алгоритму функціонування старого факту про другу робочу операцію (яка тепер у сукупності з першою робочою операцією буде замінена на еквівалентну робочу операцію) – *"retract(structure(SessionId, I, "R", Y, Z, 1))"*;
- 6) Формування в описі структури алгоритму функціонування нового факту про нову робочу операцію отриману як "згортка" двох робочих операцій – *"assert(structure(SessionId, I, "R", X, Z, N))"*, де "R" – позначення нової робочої операції, X – номер поточної ("нової"), який співпадає з номер першої операції, яка згорталась, Z – номер операції, наступної за операцією Y (тобто другою операцією, що згорталась), N – кількість зв'язків, які приходять X операцію;
- 7) Обчислення ймовірності безпомилкового виконання, математичного сподівання та дисперсії – *"calc\_RR(SessionId, I, X, Y)"*, де X – номер першої операції, Y – номер другої робочої операції;
- 8) Рекурсивний виклик правила згортання двох послідовних операцій (передбачається для можливості згортки будь-якої кількості послідовних робочих операцій) – *"reduce\_RR(SessionId, I)"*;
- 9) "!" – цей рядок є переривання виконання редукції, а так як йде він після знаку ";", то це означає, що якщо ФМ закінчилася й немає більше послідовних робочих операцій.



#### 4.4.3 Розробка Prolog технології, виявлення в структурі опису алгоритму функціонування циклової ТФС «Робоча операція з контролем функціонування» та її редукції

Розглянемо опис правила редукції ТФС «Робоча операція з контролем функціонування» (Лістинг 4.2).

Лістинг 4.2 – Правило редукції циклової ТФС «Робоча операція з контролем функціонування»

```
reduce_RK(SessionId, I) :-
    structure(SessionId, I, "R", X, Y, N),
    structure(SessionId, I, "K", Y, Z, X, 1),
    N1 is N - 1,
    retract(structure(SessionId, I, "R", X, Y, N)),
    retract(structure(SessionId, I, "K", Y, Z, _, 1)),
    assert(structure(SessionId, I, "R", X, Z, N1)),
    calc_RK(SessionId, I, X, Y),
    reduce_RK(SessionId, I);
!.
```

Це правило виконується наступним чином:

- 1) Параметри, що надходять для згортки: *SessionId* – ідентифікація сесій, для того щоб факти декількох користувачів не переплутувались між собою, *I* – крок, на якому виконується згортка.
- 2) В базі даних здійснюється пошук факту "*structure(SessionId, I, "R", X, Y, N)*", тобто робочої операції, у якої:
  - "R" – позначення робочої операції;
  - X – номер операції;
  - Y – номер наступної операції;
  - N – кількість зв'язків, які приходять на поточну операцію.
- 3) В базі даних здійснюється пошук факту "*structure(SessionId, I, "K", Y, Z, X, 1)*", тобто контролю функціонування, де:
  - "K" – позначення контролю функціонування;
  - Y – номер операції, яка слідує за операцією X;

- $Z$  – номер наступної операції, при виконанні умови контролю;
- $X$  – номер операції, на яку повертається при невиконанні умови, тобто на робочу операцію  $X$ ;
- $I$  – означає, що поточна операція має зв'язок лише з попередньою операцією.

- 4) " $NI$  is  $N - I$ " - розраховується нове значення  $NI$ , яке є на одиницю меншим за значення  $N$ , тобто у еквівалентної робочої операції буде на один зв'язок менше через те, що контроль функціонування згортається.

Механізм пошуку за зразком і механізм повернення забезпечуються автоматичним перебором та знаходженням заданої послідовності відношень, якщо вони містяться в базі даних фактів, в іншому випадку правило не виконується.

Розроблене нами правило передбачає рекурсивне виконання сукупності локальних правил:

- 5) Видалення з опису структури алгоритму функціонування старого факту про робочу операцію (яка тепер у сукупності з операцією контролю функціонування буде замінена на еквівалентну робочу операцію) – `"retract(structure(SessionId, I, "R", X, Y, N))"`;
- 6) Видалення з опису структури алгоритму функціонування старого факту про контроль функціонування (яка тепер у сукупності з робочою операцією буде замінена на еквівалентну робочу операцію) – `"retract(structure(SessionId, I, "K", Y, Z, _, I))"`;
- 7) Формування в описі структури алгоритму функціонування нового факту про нову робочу операцію отриману як "згортка" двох робочих операцій – `"assert(structure(SessionId, I, "R", X, Z, NI))"`, де  $R$  – позначення нової робочої операції,  $X$  – номер поточної ("нової"), який співпадає з номер першої операції, яка згорталась,  $Z$  – номер операції, наступної за операцією  $Y$  (тобто другою операцією, що згорталась),  $NI$  – оновлена кількість зв'язків, які приходять  $X$  операцію;

- 8) Обчислення ймовірності безпомилкового виконання, математичного сподівання та дисперсії – "*calc\_RK(SessionId, I, X, Y)*", де *X* – номер робочої операції, *Y* – номер контролю функціонування;
- 9) Рекурсивний виклик правила згортання циклової ТФС «Робоча операція з контролем функціонування» (передбачається для можливості згортки будь-якої кількості циклових ТФС «Робоча операція з контролем функціонування») – "*reduce\_RK(SessionId, I)*";
- 10) "!" – цей рядок є переривання виконання редукції, а так як йде він після знаку ";", то це означає, що якщо ФМ закінчилася й немає більше послідовних робочих операцій.

#### 4.4.4 Розробка Prolog технології, виявлення в структурі опису алгоритму функціонування циклової ТФС «Робоча операція з контролем функціонування, виправленням і повторенням робочої операції» та її редукції

Розглянемо опис правила редукції ТФС «Робоча операція з контролем функціонування, виправленням і повторенням робочої операції» (Лістинг 4.3).

Лістинг 4.3 – Правило редукції циклової ТФС «Робоча операція з контролем функціонування, виправленням і повторенням робочої операції»

```

reduce_RKR(SessionId, I) :-
    structure(SessionId, I, "R", X, Y, N),
    structure(SessionId, I, "K", Y, Z, U, 1),
    structure(SessionId, I, "R", U, X, 1),
    N1 is N - 1,
    retract(structure(SessionId, I, "R", X, Y, N)),
    retract(structure(SessionId, I, "K", Y, Z, U, 1)),
    retract(structure(SessionId, I, "R", U, X, 1)),
    assert(structure(SessionId, I, "R", X, Z, N1)),
    calc_RKR(SessionId, I, X, Y, U),
    reduce_RKR(SessionId, I);
!.

```

Це правило виконується наступним чином:

- 1) Параметри, що надходять для згортки:  $SessionId$  – ідентифікація сесій, для того щоб факти декількох користувачів не переплутувались між собою,  $I$  – крок, на якому виконується згортка.
- 2) В базі даних здійснюється пошук факту " $structure(SessionId, I, "R", X, Y, N)$ ", тобто робочої операції, у якої:
  - " $R$ " – позначення робочої операції;
  - $X$  – номер операції;
  - $Y$  – номер наступної операції;
  - $N$  – кількість зв'язків, які приходять на поточну операцію.
- 3) В базі даних здійснюється пошук факту " $structure(SessionId, I, "K", Y, Z, U, I)$ ", тобто контролю функціонування, де:
  - " $K$ " – позначення контролю функціонування;
  - $Y$  – номер операції, яка слідує за операцією  $X$ ;
  - $Z$  – номер наступної операції, при виконанні умови контролю;
  - $U$  – номер операції, при невиконанні умови;
  - $I$  – означає, що поточна операція має зв'язок лише з попередньою операцією.
- 4) В базі даних здійснюється пошук факту " $structure(SessionId, I, "R", U, X, I)$ ", тобто робочої операції, де:
  - " $R$ " – позначення робочої операції;
  - $U$  – номер поточної операції, яка є виправленням при невиконанні умови операції  $Y$ ;
  - $X$  – номер наступної операції;
  - $I$  – означає, що поточна операція має зв'язок лише з попередньою операцією.
- 5) " $NI$  is  $N - I$ " - розраховується нове значення  $NI$ , яке є на одиницю меншим за значення  $N$ , тобто у еквівалентної робочої операції буде на один зв'язок менше через те, що контроль функціонування згортається.

Механізм пошуку за зразком і механізм повернення забезпечуються автоматичним перебором та знаходженням заданої послідовності відношень, якщо вони містяться в базі даних фактів, в іншому випадку правило не виконується.

Розроблене нами правило передбачає рекурсивне виконання сукупності локальних правил:

- 6) Видалення з опису структури алгоритму функціонування старого факту про першу робочу операцію (яка тепер у сукупності з операцією контролю функціонування і другою робочою операцією буде замінена на еквівалентну робочу операцію) – *"retract(structure(SessionId, I, "R", X, Y, N))"*;
- 7) Видалення з опису структури алгоритму функціонування старого факту про контроль функціонування (яка тепер у сукупності з першою і другою робочими операціями буде замінена на еквівалентну робочу операцію) – *"retract(structure(SessionId, I, "K", Y, Z, U, 1))"*;
- 8) Видалення з опису структури алгоритму функціонування старого факту про другу робочу операцію (яка тепер у сукупності з першою робочою операцією і контролем функціонування буде замінена на еквівалентну робочу операцію) – *"retract(structure(SessionId, I, "R", U, X, 1))"*;
- 9) Формування в описі структури алгоритму функціонування нового факту про нову робочу операцію отриману як "згортка" двох робочих операцій – *"assert(structure(SessionId, I, "R", X, Z, NI))"*, де "R" – позначення нової робочої операції, X – номер поточної ("нової"), який співпадає з номер першої операції, яка згорталась, Z – номер операції, наступної за операцією Y (тобто другою операцією, що згорталась), NI – оновлена кількість зв'язків, які приходять X операцію;
- 10) Обчислення ймовірності безпомилкового виконання, математичного сподівання та дисперсії – *"calc\_RKR(SessionId, I, X, Y, U)"*, де X – номер першої робочої операції, Y – номер контролю функціонування, U – номер другої робочої операції;

- 11) Рекурсивний виклик правила згортання циклової ТФС «Робоча операція з контролем функціонування, виправленням і повторенням робочої операції» (передбачається для можливості згортки будь-якої кількості циклових ТФС «Робоча операція з контролем функціонування, виправленням і повторенням робочої операції») – `"reduce_RKR(SessionId, I)"`;
- 12) `"!"` – цей рядок є переривання виконання редукції, а так як йде він після знаку `";"`, то це означає, що якщо ФМ закінчилася й немає більше послідовних робочих операцій.

#### **4.5 Приклади використання інформаційної технології для реалізації оцінювання алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів**

Розглянемо декілька прикладів реалізації процедури оцінювання за допомогою розробленої інформаційної технології.

##### **Приклад 1**

1. Графічна модель технології, що оцінюється зображена на рис. 4.9.

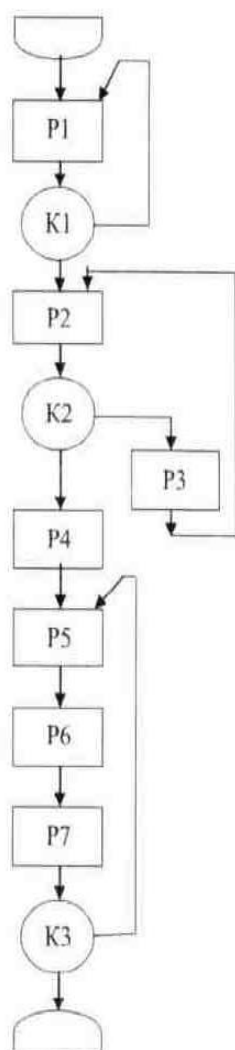


Рисунок 4.9 – Графічна модель технології, що оцінюється

2. Початкові дані. В якості початкових дані оберемо дані, які зазвичай використовуються для тестування правильності оцінювання функціональних мереж [6, 87]. Чисельні значення показників наведені в таблицях 4.1 і 4.2.

Таблиця 4.1 – Показники якості виконання робочих ТФО [6, 87]

Показник		Операція						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Ймовірність $B^1$		0,999	0,998	0,997	0,995	0,989	0,999	0,999
Часовий	M, с	5,1	3,0	8,5	1,7	2,3	10,0	9,0
	D, с <sup>2</sup>	0,3	0,4	0,7	0,1	0,2	1,1	0,8

Таблиця 4.2 – Показники якості виконання контрольних ТФО [6, 87]

Показник		Операція		
		K1	K2	K3
Ймовірність	$K^{11}$	0,990	0,995	0,997
	$K^{00}$	0,975	0,990	0,990
Часовий	M, с	4,0	4,5	5,0
	D, с <sup>2</sup>	0,7	0,6	1,0

3. Результат введення моделі алгоритму діяльності і початкових даних через інтерфейс (сформовано в підсистемі F) (рис. 4.10 і 4.11).

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work oper:	2	R1	3						2
Functioning	3	K1	4	2					1
Work oper:	4	R2	5						2
Functioning	5	K2	7	6					1
Work oper:	6	R3	4						1
Work oper:	7	R4	8						1
Work oper:	8	R5	9						2
Work oper:	9	R6	10						1
Work oper:	10	R7	11						1
Functioning	11	K3	12	8					1
Finisher	12		0						

Рисунок 4.10 – Введення моделі алгоритму діяльності



## Characteristics

NameTFU	NumTFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Work operation	2	R1	0.999			5.1	0.3
Functioning control	3	K1		0.990	0.975	4.0	0.7
Work operation	4	R2	0.998			3.0	0.4
Functioning control	5	K2		0.995	0.990	4.5	0.6
Work operation	6	R3	0.997			8.5	0.7
Work operation	7	R4	0.995			1.7	0.1
Work operation	8	R5	0.989			2.3	0.2
Work operation	9	R6	0.999			10.0	1.1
Work operation	10	R7	0.999			9.0	0.8
Functioning control	11	K3		0.997	0.990	5.0	1.0

Рисунок 4.11 – Введення початкових даних

4. Формальний опис моделі алгоритму діяльності на мові Prolog (сформовано автоматично в підсистемі O) (рис. 4.12)

```

structure(SessionId, 0, "стартер", 1, 2).
structure(SessionId, 0, "фінішер", 12, 0).

structure(SessionId, 0, "R", 2, 3, 2).
structure(SessionId, 0, "R", 4, 5, 2).
structure(SessionId, 0, "R", 6, 4, 1).
structure(SessionId, 0, "R", 7, 8, 1).
structure(SessionId, 0, "R", 8, 9, 2).
structure(SessionId, 0, "R", 9, 10, 1).
structure(SessionId, 0, "R", 10, 11, 1).

structure(SessionId, 0, "K", 3, 4, 2, 1).
structure(SessionId, 0, "K", 5, 7, 6, 1).
structure(SessionId, 0, "K", 11, 12, 8, 1).

characteristics(SessionId, 0, "R", 2, 0.999, 5.1, 0.3).
characteristics(SessionId, 0, "R", 4, 0.998, 3, 0.4).
characteristics(SessionId, 0, "R", 6, 0.997, 8.5, 0.7).
characteristics(SessionId, 0, "R", 7, 0.995, 1.7, 0.1).
characteristics(SessionId, 0, "R", 8, 0.989, 2.3, 0.2).
characteristics(SessionId, 0, "R", 9, 0.999, 10, 1.1).
characteristics(SessionId, 0, "R", 10, 0.999, 9, 0.8).

characteristics(SessionId, 0, "K", 3, 0.99, 0.975, 4, 0.7).
characteristics(SessionId, 0, "K", 5, 0.995, 0.99, 4.5, 0.6).
characteristics(SessionId, 0, "K", 11, 0.997, 0.99, 5, 1).

```

Рисунок 4.12 – Формальний опис моделі ФМ (рис. 4.8) на мові Prolog (формується автоматично в підсистемі O)

5. Процес оцінювання (послідовність редукції) (сформовано автоматично в підсистемі O, візуалізовано підсистемою F) (рис. 4.13-4.17).

## Step 1

Reduction in 1 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
R5	8	9		RR	Re1
R6	9	10		RR	Re1
R7	10	11		RR	Re1

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	R1	3						2
Functioning control	3	K1	4	2					1
Work operation	4	R2	5						2
Functioning control	5	K2	7	6					1
Work operation	6	R3	4						1
Work operation	7	R4	8						1
Work operation	8	Re1	11						2
Functioning control	11	K3	12	8					1
Finisher	12		0						

Рисунок 4.13 – Візуалізація процесу редукції, проведеної на 1 кроці

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	R1	0.99900			5.100	0.300
Functioning control	3	K1		0.990	0.975	4.000	0.700
Work operation	4	R2	0.99800			3.000	0.400
Functioning control	5	K2		0.995	0.990	4.500	0.600
Work operation	6	R3	0.99700			8.500	0.700
Work operation	7	R4	0.99500			1.700	0.100
Work operation	8	Re1	0.98702			21.300	2.100
Functioning control	11	K3		0.997	0.990	5.000	1.000
Finisher	12						

Рисунок 4.14 – Поточні характеристики операцій ФМ після проведення 1 кроку редукції

## Step 2

Reduction in 2 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
R1	2	3		RK	Re2
K1	3	4	2	RK	Re2
Re1	8	11		RK	Re3
K3	11	12	8	RK	Re3

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re2	4						1
Work operation	4	R2	5						2
Functioning control	5	K2	7	6					1
Work operation	6	R3	4						1
Work operation	7	R4	8						1
Work operation	8	Re3	12						1
Finisher	12		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re2	0.99997			9.201	1.939
Work operation	4	R2	0.99800			3.000	0.400
Functioning control	5	K2		0.995	0.990	4.500	0.600
Work operation	6	R3	0.99700			8.500	0.700
Work operation	7	R4	0.99500			1.700	0.100
Work operation	8	Re3	0.99987			26.722	14.438

Рисунок 4.15 – Редукція на 2 кроці

## Step 3

Reduction in 3 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTF5	NewDesTFU
R4	7	8		RR	Re4
Re3	8	12		RR	Re4

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re2	4						1
Work operation	4	R2	5						2
Functioning control	5	K2	7	6					1
Work operation	6	R3	4						1
Work operation	7	Re4	12						1
Finisher	12		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re2	0.99997			9.201	1.939
Work operation	4	R2	0.99800			3.000	0.400
Functioning control	5	K2		0.995	0.990	4.500	0.600
Work operation	6	R3	0.99700			8.500	0.700
Work operation	7	Re4	0.99487			28.422	14.538
Finisher	12						

Рисунок 4.16 – Редукція на 3 кроці

## Step 4

Reduction in 4 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
R2	4	5		RKR	Re5
K2	5	7	6	RKR	Re5
R3	6	4		RKR	Re5

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re2	4						1
Work operation	4	Re5	7						1
Work operation	7	Re4	12						1
Finisher	12		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re2	0.99997			9.201	1.939
Work operation	4	Re5	0.99998			7.613	1.025
Work operation	7	Re4	0.99487			28.422	14.538
Finisher	12						

Рисунок 4.17 – Редукція на 4 кроці

6. Підсумковий результат оцінювання (сформовано автоматично в підсистемі O, візуалізовано підсистемою F) (рис. 4.18).

## Step 5

Reduction in 5 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
Re2	2	4		RR	Re6
Re5	4	7		RR	Re6
Re4	7	12		RR	Re6

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re6	12						1
Finisher	12		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re6	0.99482			45.236	17.502
Finisher	12						

Рисунок 4.18 – Оцінювання результатів надійності діяльності оператора  
( $B1=0.99482$ ,  $M(t)=45.236$ ,  $D(t)=17.502$ )

Деякі інші приклади результатів роботи програми для інших структур алгоритмів діяльності наведені в додатку В.

## 4.6 Аналіз результатів дослідження

### 4.6.1 Достовірність результатів

Достовірність результатів забезпечена:

- використанням багаторазово перевіреного і математичного апарату ФМ і вірогідностних моделей для оцінки ТФС;
- використанням класичних моделей опису предикатів і моделей логічного виведення;
- орієнтацією на використання в якості початкових даних численних значень отриманих в результаті спеціальних статистичних досліджень;

Достовірність результатів підтверджено експериментальною перевіркою і порівнянням результатів розрахунків проведених з використанням інформаційної системи («автоматична редукція») з результатами «ручних» розрахунків (процес редукції здійснюється експериментатором методом послідовної підстановки значень у відповідні формули для ТФС).

Результати експериментальної перевірки наведено в таблиці 4.3.



Таблиця 4.3 – Експериментальне дослідження точності розрахунків

№ експе- рименту	Дані для оцінювання	Розрахунок за допомогою інформаційної технології			Розрахунок за допомогою використання формул («ручна» редукція)			Похибка		
		B <sup>1</sup>	M(t)	D(t)	B <sup>1</sup>	M(t)	D(t)	B <sup>1</sup>	M(t)	D(t)
1	Приклад 1 (див. п. 4.5), ФМ рис. 4.9, дані для оцінювання табл. 4.1 і 4.2	0.99482	45.236	17.502	0.99482	45.236	17.502	0	0	0
2	Приклад 2 (див. додаток В), ФМ рис. В.1, дані для оцінювання табл. В.1 і В.2	0.99976	54,318	55,385	0.99976	54,318	55,385	0	0	0
3	Приклад 3 (див. додаток В), ФМ рис. В.11, дані для оцінювання табл. В.1 і В.2	0.99678	44.818	6.840	0.99678	44.818	6.840	0	0	0
4	Приклад 4 (див. додаток В), ФМ рис. В.21, дані для оцінювання табл. В.1 і В.2	0.99999	30.539	5.734	0.99999	30.539	5.734	0	0	0
5	Приклад 5 (див. додаток В), ФМ рис. В.31, дані для оцінювання табл. В.1 і В.2	0.99998	30.474	5.755	0.99998	30.474	5.755	0	0	0

#### **4.6.2 Практичне значення результатів і ефективність використання інформаційної технології**

Як бачимо, результати повністю збігаються, але розроблена система дозволяє суттєво зменшити час і трудомісткість оцінювання. Якщо «ручне» оцінювання для кожного з прикладів 1-5 займає для різних користувачів від 120 до 189 хвилин (експерименти проводились із залученням групи студентів), то автоматичне оцінювання було проведено за час, непомітний для користувача. Основні затрати часу займає підготовка вхідних даних, яка за проведеними експериментами для прикладів 1-6 вимагала від 7 до 15 хвилин. Але якщо дані були підготовлені раніше, затрати часу значно скорочуються.

#### **4.7 Висновки до розділу 4**

Математичною базою для автоматичного оцінювання надійності алгоритмів діяльності доцільно обрати апарат логіки предикатів.

Опис функціональної мережі на спеціально розробленій мові з використанням засобів Prolog і моделі ідентифікації типових функціональних структур дозволяють повністю автоматизувати процес оцінювання.

Проведені експерименти підтвердили достовірність результатів та ефективність розробленого програмного забезпечення.

Інформаційна технологія може бути використана як для потреб конкретного підприємства, так і для системи підтримки ергономічних досліджень.

## ВИСНОВКИ

В останні роки в автоматизованих технологічних комплексах спостерігається збільшення ступеню автоматизації технологічних процесів і зміна ролі оператора від безпосереднього управління обладнанням до реалізації функцій управління через спеціальні інформаційні моделі.

Надійність реалізації функцій управління процесами суттєво залежить від організації діяльності оператора та забезпечення комфортних умов праці і відповідного навчання.

Для забезпечення надійного управління і безпеки підприємств поставлена задача проведення швидкого аналізу надійності реалізації функцій з урахуванням так званого «людського фактору», на долю якого за статистикою приходиться більше 80% помилок та збоїв.

Для оцінювання надійності людини-оператора доцільно використовувати апарат функціональних мереж; на жаль існуючі програмні засоби не забезпечують достатню автоматизацію моделювання і можливість онлайн оцінювання варіантів реалізації технологічних процесів.

Для автоматизації ідентифікації типових функціональних структур доцільно використовувати розроблену нами мову опису функціональних мереж на основі предикатних моделей.

Використання в якості підсистеми оцінювання, реалізованої в середовищі Prolog, а в якості підсистеми формування запиту на оцінювання інтернет технології, побудованої з використанням HTML та JavaScript, яка дозволяє задати структуру діяльності та характеристики надійності операцій, дозволяє отримувати онлайн прогноз надійності реалізації функцій оператором автоматизованого технологічного комплексу підприємства.

Наявність технології онлайн оцінювання дозволяє швидко аналізувати альтернативні варіанти організації діяльності операторів та ергономічного забезпечення процесів управління складними об'єктами.

Наукова новизна. На відміну від існуючих моделей оцінки надійності алгоритмізованої діяльності людини-оператора, орієнтованих на «ручне» розпізнавання типових функціональних структур або на Excel-технології автоматизації розрахунків, запропонований метод використовує предикатні моделі опису діяльності, що забезпечує автоматизацію ідентифікації типових функціональних структур та можливість онлайн розрахунків, в тому числі в мережі інтернет.

Практичне значення. Інформаційна технологія дозволяє оперативно моделювати діяльність оператора з метою виявлення ергономічних резервів підвищення надійності процесів управління складними об'єктами і може бути ефективним елементом системи підтримки прийняття рішень при проектуванні і експлуатації людино-машинних систем управління.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Татарчук Р. М., Лавров Є. А. Пролог-технологія оцінювання надійності людино-машинної взаємодії// Інформатика, математика, автоматика : матеріали та програма Міжнародної наукової конференції молодих вчених, Суми – Астана, 22–26 квітня 2024 р. / відп. за вип. Ю. Волк . — Суми-Астана : СумДУ, 2023. — С. 198-199.
2. Татарчук Р. М., Клименко І. В., Лавров Є. А. Система управління автоматизованим хлібозаводом. Ризики та методологія пошуку ергономічних резервів забезпечення продовольчої безпеки // Інформатика, математика, автоматика : матеріали та програма Міжнародної наукової конференції молодих вчених, Суми – Астана, 22–26 квітня 2024 р. / відп. за вип. Ю. Волк . — Суми-Астана : СумДУ, 2023. — С. 200-201.
3. D. Slavic, "The main concepts of Industry 5.0: A Bibliometric Analysis Approach," 2023 22nd Int. Symposium INFOTEN, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/INFOTEN57020.2023.10094143
4. Метод побудови адаптивного web інтерфейсу для забезпечення usability сайту дизайн студії [Текст] / А. В. Федорова, Є. А. Лавров // Інформатика, математика, автоматика : матеріали та програма науково-технічної конференції, м. Суми, 23-26 квітня 2019 р. / відп. за вип. С.І. Проценко. — Суми : СумДУ, 2019. — С. 101-102.
5. Федорова, А.В. Метод автоматичної редукції функціональних мереж для задач моделювання операторської діяльності в критичних системах [Текст] / А. В. Федорова, Е. А. Лавров, Н. Б. Пасько // Інформатика, математика, автоматика : матеріали та програма науково-технічної конференції, м. Суми, 05-09 лютого 2018 р. / Відп. за вип. С.І. Проценко. — Суми : СумДУ, 2018. — С. 120-121.
6. Федорова, А.В. Інформаційна технологія моделювання діяльності людини-оператора в автоматизованих технологічних комплексах [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного рівня бакалавр; спец.: 6.050101 – комп'ютерні науки / А.В. Федорова; наук. керівник Є.А. Лавров – Суми: СумДУ, 2018. – 154 с.

7. E. Lavrov et al., "Human Factors in Automated Systems. Methodology for the Computer System "International Center for the Support of Ergonomic Design and Research", " 2023 IEEE 5th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/AICT61584.2023.10452692.
8. ПрАТ "Прилуцький хлібозавод" | Пирятинська вулиця, 45, Pryluky, Chernihiv Oblast, Ukraine. Khlibozavod. URL: <https://www.prylutskyi-khlibozavod.com/> (дата звернення: 10.05.2024).
9. P. Paderno and N Nazarenko. Ergonomic examination of user interfaces in developed information systems, *Ergodesign*, 2018, no. 2 (2), pp. 14-20, [https://doi.org/10.30987/article\\_5bf98b62c47c84.95349720](https://doi.org/10.30987/article_5bf98b62c47c84.95349720).
10. Meleschenko, E. E., Kuleshov, V. V., Zolkin, A. L., Koval, Y. N., & Kudryakov, A. G. , "Human factor management tool while performing high-risk work in thermal power engineering", *AIP Conference Proceedings* , 2022, Vol. 2467, No. 1, <https://doi.org/10.1063/5.0092470>
11. Burov, O. et al, "Cybersecurity in Educational Networks", *Intelligent Human Systems Integration 2020. IHSI 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1131. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39512-4\\_56](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39512-4_56)
12. Y. Wang, J. Guo, S. Zeng, Q. Mao, Z. Lu and Z. Wang, "Human-Machine Trust and Calibration Based on Human-in-the-Loop Experiment," 2022 4th International Conference on System Reliability and Safety Engineering (SRSE), Guangzhou, China, 2022, pp. 476-481, doi: 10.1109/SRSE56746.2022.10067635.
13. F. E. Ritter, F. Tehranchi, & J. D. Oury, ACT-R: A cognitive architecture for modeling cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews. Cognitive Science* vol. 10,3 (2019): e1488. DOI: <https://doi.org/10.1002/wcs.1488>.
14. E. Lavrov , O. Siryk, "Functional Networks For Ergonomics And Reliability Tasks On The 90th Anniversary Of A. Gubinsky And V. Evgrafov", *Sigurnost* 64 (3) 245 - 257 (2022) <https://doi.org/10.31306/s.64.3.3>
15. Lavrov, E., Siryk, O., Kirichenko, I., Barchenko, N., Chybiriak, Y. The Methodology of Managed Functional Networks for Organizing Effective and Adaptive Human-

- Machine Dialogue in Automated Systems CEUR Workshop Proceedings, 2021, 3013, pp. 428–437
16. Lavrov, E., Paderno, P., Siryk, O., Kyzenko, V., Kosianchuk, S., Bondarenko, N., Burkov, E. Functional Networks for Modeling and Optimization Human-Machine Systems (2021) Advances in Intelligent Systems and Computing, 1313 AISC, pp. 189-196. <http://www.springer.com/series/11156> ISBN: 978-303066936-2 doi: 10.1007/978-3-030-66937-9\_21
  17. Lavrov, E., Pasko, N. Development of Models for Computer Systems of Processing Information and Control for Tasks of Ergonomic Improvements Communications in Computer and Information Science, 2018, 920, pp.98–109 DOI 10.1007/978-3-319-99972-2\_8
  18. Lavrov, E., Pasko, N., Krivodub, A. Automated analysis of ergonomic measures in discrete control systems (2015) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (3), pp. 16-22. doi: 10.15587/1729-4061.2015.48050
  19. E. Lavrov, O. Siryk, Y. Chybiriak, L. Danilova, V. Nahorny and S. Vakal, "A Model for the Organization of Adaptive Dialogue Interaction “Man-Computer” Taking into Account the Requirements of Reliability and Efficiency," 2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2021, pp. 31-35, doi: 10.1109/AICT52120.2021.9628939
  20. E. Lavrov, O. Siryk, N. Sedova, P. Paderno, E. Burkov and S. Vakal, "Modeling Errors and Failures in Automated Human-Machine Control Systems to Solve Reliability Assessment Tasks," 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 399-402, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772122.
  21. E. Lavrov, "Methodology for Reliability Analysis of Human-Machine Interaction in Automated Control Systems," 2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2021, pp. 293-297, doi: 10.1109/AICT52120.2021.9628925

- 22.E. Lavrov, O. Siryk, B. Rybalov and D. Velykodnyi, "The Method of Adaptive Control of the Process of Human-Machine Interaction to Ensure the Reliability and Efficiency of Automated Control Systems," 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 403-407, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772126.
- 23.E. Lavrov, "Mathematical Models of Human-Computer Interaction. Analysis of Human Operator Activity in Terms of Error Generation and Problem Elimination," 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2022, pp. 325-328, doi: 10.1109/PICST57299.2022.10238654.
- 24.Lavrov, E. (2023). Ergonomics in Ukraine. In: Salopek Čubrić, I., Čubrić, G., Jambrošić, K., Jurčević Lulić, T., Sumpor, D. (eds) Proceedings of the 9th International Ergonomics Conference. ERGONOMICS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 701. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-33986-8\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-33986-8_18)
- 25.A. N. Adamenko, A. T. Asherov, I. L. Berdnikov. Information controlling human-machine systems: research, design, testing. Reference book, A. I. Gubinsky & V. G. Evgrafov, eds. Moscow, Russia: Mashinostroenie, 1993.
- 26.A. I. Gubinsky and A. N. Adamenko, "Functoinal-semantic NETS – the universal formalism for defining designing and estimating the quality of functioning of Man-Machine Systems", Analysis Design and Evaluation of Man-Machine Systems 1988: Selected Papers from the Third IFAC/IFIP/IEA/IFORS Conference, pp. 415-420, 14-16 June 1988.
- 27.Zolkin A.L., Lavrov E.A., Zaitseva I.N., Bityutskiy A.S., Mironchuk V.A. (2022) Design of neuro-simulation system in situational management of control and quality assessment for complex production assembly system. CEUR Workshop Proceedings, 3091 , pp. 46-52.
- 28.E. A. Lavrov, A. A. Volosiuk, N. B. Pasko, V. P. Gonchar and G. K. Kozhevnikov, "Computer Simulation of Discrete Human-Machine Interaction for Providing Reliability and Cybersecurity of Critical Systems," 2018 Third International



- Conference on Human Factors in Complex Technical Systems and Environments (ERGO)s and Environments (ERGO), St. Petersburg, Russia, 2018, pp. 67-70, doi: 10.1109/ERGO.2018.8443846.
- 29.E. Lavrov, N. Pasko, O. Siryk, O. Burov and M. Natalia, "Mathematical Models for Reducing Functional Networks to Ensure the Reliability and Cybersecurity of Ergatic Control Systems," 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 179-184, doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235418
- 30.E. A. Lavrov, P. I. Paderno, E. A. Burkov, O. E. Siryk and N. B. Pasko, "Information Technology for Modeling Human-machine Control Systems and Approach to Integration of Mathematical Models for Its Improvement," 2020 XXIII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), St. Petersburg, Russia, 2020, pp. 117-120, doi: 10.1109/SCM50615.2020.9198791.
- 31.Lavrov, E., Pasko, N. Optimization of the Activity of Operators of Critical Systems by Methods of Regulating Operational-Tempo Tension CEUR Workshop Proceedings, 2018, 2105, pp. 227–234
- 32.E. Lavrov, G. Kozhevnykov, N. Pasko, V. Gonchar and V. Mukoseev, "Improvement for Ergonomic Quality of Man-Machine Interaction in Automated Systems based on the Optimization Model," 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2018, pp. 735-740, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632074.
- 33.E. Lavrov, O. Siryk, N. Pasko, P. Paderno and E. Burkov, "Reliability of Human-Machine Interaction in Distributed Information Environments. Models for Morphological Analysis and Optimization of Group Activities," 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 679-684, doi: 10.1109/PICST51311.2020.9468043.
- 34.E. Lavrov et al., "Human-centered management in polyergatic information systems. Multi-criteria distribution of functions between operators , "IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciencethis link is disabled, 2022, 1049(1), 012020

35. Lavrov, E., Pasko, N., Siryk, O., Burov, O., Osadchyi, V. Ergonomics of cyberspace. mathematical modeling to create groups of operators for error-free and timely implementation of functions in a distributed control system CEUR Workshop Proceedings, 2020, 2740, pp. 380–385
36. Lavrov, E., Pasko, N., Krivodub, A., Barchenko, N., Kontsevich, V. Ergonomics of IT outsourcing. Development of a mathematical model to distribute functions among operators (2016) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (4), pp. 32-42. doi: 10.15587/1729-4061.2016.66021
37. E. A. Lavrov, N. B. Pasko and V. E. Snytyuk, "Information Technology for Distribution of Functions between Operators as a Means of Improving the Reliability of Polyergatic Systems," 2018 Third International Conference on Human Factors in Complex Technical Systems and Environments (ERGO)s and Environments (ERGO), St. Petersburg, Russia, 2018, pp. 71-76, doi: 10.1109/ERGO.2018.8443832.
38. E. Lavrov, N. Pasko and V. Borovyk, "Management for the Operators Activity in the Polyergatic System. Method of Functions Distribution on the Basis of the Reliability Model of System States," 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2018.8632102.
39. Lavrov, E.A., Zolkin, A.L., Aygumov, T.G., Chistyakov, M.S., Akhmetov, I.V. Analysis of information security issues in corporate computer networks (2021) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1047 (1), art. no. 012117. <https://iopscience.iop.org/journal/1757-899X> doi: 10.1088/1757-899X/1047/1/012117
40. Burov, O., Lytvynova, S., Lavrov, E., Shevchenko, S., Tkachenko, O.M. Cybersecurity in educational networks Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, 1131 AISC, pp. 359–364 DOI 10.1007/978-3-030-39512-4\_56
41. E. Lavrov, A. Tolbatov, N. Pasko and V. Tolbatov, "Cybersecurity of distributed information systems, the minimization of damage caused by errors of operators during group activity," 2017 2nd International Conference on Advanced Information

- and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2017, pp. 83-87, doi: 10.1109/AIACT.2017.8020071.
42. E. Lavrov et al., “On the Way to Hybrid Intelligence: Influence of the Human-System Interaction Rate on the Human Cognitive Performance”, *Human Interaction & Emerging Technologies (IHIET-AI 2023): Artificial Intelligence & Future Applications*, 2023, pp.18-24 <https://doi.org/10.54941/ahfe1002925>
43. Burov, O., Lytvynova, S., Pinchuk, O., Lavrov E., Korolchuk, V., Zolkin, A. Influence of Properties of the Nervous System on Cognitive Abilities Lecture Notes in Networks and Systems, 2021, 259, pp. 114–119 DOI 10.1007/978-3-030-80285-1\_14
44. Burov, O., Lavrov, E., Lytvynova, S., Siryk, O., Kyzenko, V. Cognitive Performance Degradation in High School Students as the Response to the Psychophysiological Changes *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, 1201 AISC, pp. 83–88 DOI 10.1007/978-3-030-51041-1\_12
45. Burov, O., Lavrov, E., Pasko, N., Kyzenko, V., Dolgikh, Y. Self-adjusted data-driven system for prediction of human performance *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, 1131 AISC, pp. 282–287 DOI 10.1007/978-3-030-39512-4\_45
46. A. Volosiuk, S. Kuznetsov, S. Podkolzina, E. Lavrov Mobile App Authentication Systems: Usability Issues for Cyrillic Alphabet Users (Pilot Study) *Advances in Intelligent Systems and Computing* Tom 1313 AISC, pp. 233 – 240, 2021 8th International Ergonomics Conference, ERGONOMICS 2020 DOI 10.1007/978-3-030-66937-9\_26
47. Paderno, P.I., Burkov, E.A., Lavrov, E.A. Issues of organization of expertise and problems of expert assessments *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, 1703(1), 012047 DOI 10.1088/1742-6596/1703/1/012047
48. Lavrov, E., Paderno, P., Burkov, E., Volosiuk, A., Lung, V.D. Expert assessment systems to support decision-making for sustainable development of complex technological and socioeconomic facilities *E3S Web of Conferences*, 2020, 166, 11002 DOI 10.1051/e3sconf/202016611002

49. P. I. Paderno, E. A. Burkov, E. A. Tolkacheva, E. A. Lavrov and O. E. Siryk, "Expert Classification: Resource-Based Approach," 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), St. Petersburg, Russia, 2021, pp. 31-33, doi: 10.1109/SCM52931.2021.9507119.
50. E. A. Burkov, P. I. Paderno, O. E. Siryk, E. A. Lavrov and N. B. Pasko, "Analysis of Impact of Marginal Expert Assessments on Integrated Expert Assessment," 2020 XXIII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), St. Petersburg, Russia, 2020, pp. 14-17, doi: 10.1109/SCM50615.2020.9198772.
51. P. I. Paderno, E. A. Burkov, E. A. Tolkacheva, E. A. Lavrov and O. E. Siryk, "Expert Classification: Probabilistic Estimates," 2021 XXIV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), St. Petersburg, Russia, 2021, pp. 28-31, doi: 10.1109/SCM52931.2021.9507116.
52. E. Lavrov et al., "Training of Specialists for Adaptive management. Techniques for Teaching Computer Analysis of Automated Production Systems in the FlexSim Environment", CEUR Workshop Proceedings this 2022, 3104, pp. 106–118
53. Lavrov, E., Pasko, N., Siryk, O., Kisel, N., Sedova, N. The method of teaching IT students computer analysis of ergonomic reserves of the effectiveness of automated control systems (2020) E3S Web of Conferences, 166, art. no. 10017 [www.e3s-conferences.org/](http://www.e3s-conferences.org/) doi: 10.1051/e3sconf/202016610017
54. Lavrov E., Paderno P., Siryk O., Burkov E., Kosianchuk S., Bondarenko N., Kyzenko V. Analysis of Working Conditions and Modeling of Activity Algorithms for Contact-Center Operators Proceedings of the 8th International Ergonomics Conference. March, 2021. Switzerland: Springer, 2021. Pp.121–128. DOI:10.1007/978-3-030-66937-9\_14
55. Lavrov, E., Pasko, N. Automation of assessing the reliability of operator's activities in contact centers that provide access to information resources CEUR Workshop Proceedings, 2018, 2105, pp. 445–448
56. E. Lavrov, P. Paderno, O. Siryk, E. Burkov, N. Pasko and V. Nahorny, "Decision Support in Incident Management Systems. Models of Searching for Ergonomic Reserves to Increase Efficiency," 2020 IEEE International Conference on Problems

- of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 653-658, doi: 10.1109/PICST51311.2020.9467991
- 57.E. Lavrov et al., "Mathematical Models and Decision Support System for the Efficiency and Ergonomic Quality of IT Service Management Systems," 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2021, pp. 506-510, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772245.
- 58.E. Lavrov, A. Tolbatov, N. Pasko and V. Tolbatov, "Ergonomie reserves for improving reliability of data processing in distributed banking systems," 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2017, pp. 79-82, doi: 10.1109/AIACT.2017.8020070
- 59.E. Lavrov and O. Siryk, "Ergonomic Support for the Activities of Software Testers," 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2022, pp. 335-340, doi: 10.1109/PICST57299.2022.10238605.
- 60.Lavrov, E., Siryk, O. (2023). Decision Support for Solving Problems of Ergonomic Provision of Contact Centers. In: Salopek Čubrić, I., Čubrić, G., Jambrošić, K., Jurčević Lulić, T., Sumpor, D. (eds) Proceedings of the 9th International Ergonomics Conference. ERGONOMICS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 701. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-33986-8\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-031-33986-8_19)
- 61.Lavrov, E., Pasko, N., Siryk, O., Mukoseev, V., Dubovyk, S. Automation of reliability assessment of functional elements of flexible automated production based on functional network methodology CEUR Workshop Proceedings, 2020, 2740, pp. 357–364
- 62.E. Lavrov, N. Pasko, O. Siryk, P. Paderno and E. Burkov, "Models and Information Technology for Reliable Design of the Functioning Processes of Flexible Production Systems as Complex Human-Machine Systems," 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC

- S&T), Kharkiv, Ukraine, 2020, pp. 673-678, doi: 10.1109/PICST51311.2020.9467894.
63. E. Lavrov, N. Pasko, A. Krivodub and A. Tolbatov, "Mathematical models for the distribution of functions between the operators of the computer-integrated flexible manufacturing systems," 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv, Ukraine, 2016, pp. 72-75, doi: 10.1109/TCSET.2016.7451974
64. Lavrov, E., Siryk, O., Volosiuk, A., Zolkin, A., Sedova, N. Sustainability and reliability insurance models for automated technological systems in chemical industry: systemic ergonomic approach (2021) E3S Web of Conferences, 280, art. no. 02005. doi: 10.1051/e3sconf/202128002005
65. Pinchuk, O., Sokolyuk, O., Burov, O., Lavrov E., Shevchenko, S., Aksakovska, V. ICT for training and evaluation of the solar impact on aviation safety CEUR Workshop Proceedings, 2020, 2732, pp. 786–792
66. Sedova N.A., Sedov V.A., Lavrov E.A., Bazhenov R.I., Gorbunova T.N. Assessing the degree of collision hazard for an autonomous unmanned vessel based on fuzzy logic and neural network technologies // Marine Intelligent Technologies. 2021. Vol. 3. No. 4 (54). pp. 128-134.
67. O. Siryk and E. Lavrov, "Mathematical Models for Assessing the Reliability of Processes of Automated Control of the Main Gas Pipeline, Taking into Account the "Human Factor"," 2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2022, pp. 329-334, doi: 10.1109/PICST57299.2022.10238600.
68. Lavrov, E., Logvinenko, V., Siryk, O., Kyzenko, V. Method for assessing the information content of factors forming the cognitive independence of students (2021) Journal of Physics: Conference Series, 1840 (1), art. no. 012066. <http://iopscience.iop.org/journal/1742-6596> doi: 10.1088/1742-6596/1840/1/012066
69. Lavrov, E., Siryk, O., Chabanenko, P. A method to ensure the effectiveness and attractiveness of e-learning. Human-oriented systemic ergonomic approach CEUR Workshop Proceedings, 2020, 2732, pp. 572–582

70. Lavrov, E., Lavrova, O. Intelligent adaptation method for human-machine interaction in modular E-learning systems CEUR Workshop Proceedings, 2019, 2393, pp. 1000–1010
71. Khramova, L.N., Tsakhaeva, A.A., Posokhova, A.V., Lavrov E.A., Litvishkov, V.M., Vilkoval, A.V. Modern managers training in the context of competence approach Journal of Social Sciences Research, 2018, 2018 (Special Issue 5), pp. 194–199 DOI 10.32861/jssr.spi5.194.199
72. Lavrov, E., Barchenko, N., Pasko, N., Borozenec, I. Development of models for the formalized description of modular e-learning systems for the problems on providing ergonomic quality of human-computer interaction (2017) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (2-86), pp. 4-13. doi: 10.15587/1729-4061.2017.97718
73. Lavrov, E., Kuppenko, O., Lavryk, T., Barchenko, N. Organizational approach to the ergonomic examination of e-learning modules (2013) Informatics in Education, 12 (1), pp. 105-123
74. Koniukhov, S.; Krashenninnik, I.; Osadcha, K.; Lavrov, E. and Kotova, O. (2022). Professional Training of Bachelors in Information Technologies based on Education for Sustainable Development Principles. In Proceedings of the 1st Symposium on Advances in Educational Technology - Volume 1: AET; ISBN 978-989-758-558-6, SciTePress, pages 354-364. DOI: 10.5220/0010924300003364
75. Varina, H.; Osadchy, V.; Shevchenko, S.; Averina, K. and Lavrov, E. (2022). Peculiarities of using Learning Apps Service in the Process of Developing a Motivational Component of Professional Training of Future Professionals in Terms of Adaptive Learning. In Proceedings of the 1st Symposium on Advances in Educational Technology - Volume 2: AET; ISBN 978-989-758-558-6, SciTePress, pages 416-424. DOI: 10.5220/0010932300003364
76. Lavrov, E.; Logvinenko, V.; Osadchy, V.; Siryk, O. and Chybiriak, Y. (2022). Ensuring the Effectiveness of e-Learning based on Online Technology Analysis of Factors Influencing the Cognitive Independence of Students. In Proceedings of the 1st Symposium on Advances in Educational Technology - Volume 2: AET; ISBN 978-989-758-558-6, SciTePress, pages 569-577. DOI: 10.5220/0011009500003364

- 77.E. Lavrov, N. Barchenok, O. Lavrova and N. Savina, "Models of the Dialogue "Human - Computer" for Ergonomic Support of E-Learning," 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2019, pp. 187-190, doi: 10.1109/AIACT.2019.8847763.
- 78.E. Lavrov, N. Pasko, A. Tolbatov and N. Barchenko, "Development of adaptation technologies to man-operator in distributed E-learning systems," 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2017, pp. 88-91, doi: 10.
- 79.E. Lavrov, N. Pasko, O. Lavrova and N. Savina, "Models for the Description of Man-Machine Interaction for the Tasks of Computer-Aided Assessment of the Reliability of Automated Systems," 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2019, pp. 176-181, doi: 10.1109/AIACT.2019.8847767.
- 80.Bazhenov, R., Lavrov, E., Sedova, N., Sedov, V. (2022). Fuzzy Controller for Automatic Ventilation Control System. In: Hu, Z., Petoukhov, S., He, M. (eds) Advances in Artificial Systems for Medicine and Education V. AIMEE 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 107. Springer, Cham. [doi.org/10.1007/978-3-030-92537-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92537-6_9)
- 81.A L Zolkin, V D Munister, E A Lavrov, K G Aygumov and V Saradzheva (2021) Creation of a software and hardware product of a real-time system for collecting, accounting and managing data transmission of an intelligent transport system in context of the IoT. Journal of Physics: Conference Series, Volume 2094, DOI 10.1088/1742-6596/2094/5/052059
- 82.Vereschagina, E.A., Zolkin, A.L., Lavrov, E.A., Fakhertdinova, D.I., Dragulenko, V.V. Building of a digital model of aluminum electrolysis modes (2021) Journal of Physics: Conference Series, 1889 (2), art. no. 022001. <http://iopscience.iop.org/journal/1742-6596> doi: 10.1088/1742-6596/1889/2/022001



83. Bazhenov R., Sedova N., Sedov V., Lavrov E., Dorofeev, A. Applying machine learning methods to forecasting customer churn for a telecommunications company CEUR Workshop Proceedings, 2021, 2843
84. Ogurtsov, E.S., Kokoreva, V.A., Ogurtsov, S.F., Usenbay, T.A., Kunesbekov, A.S., Lavrov, E. Microcontroller navigation and motion control system of the underwater robotic complex (2016) ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 11 (9), pp. 6110-6121.
85. N. A. Sedova, Z. V. Arkhipova, E. A. Lavrov, I. A. Ledovskikh and R. I. Bazhenov, "Smart System for Detecting Unauthorized Entry into a Smart Home," 2020 International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS), Yaroslavl, Russia, 2020, pp. 63-67, doi: 10.1109/ITQMIS51053.2020.9322947.
86. Burov, O., Lavrov, E., Lytvynova, S., Pinchuk, O., Horska, K., Tkachenko, O., Kovalenko, N., & Chybiriak, Y. (2023) On the way to hybrid intelligence: influence of the human-system interaction rate on the human cognitive performance , doi: 10.54941/ahfe1002925
87. <https://nure.ua/wp-content/uploads/2020/Konkurs/51-miracle.pdf>

## ДОДАТОК А

### Деталізація мети методом SMART.

Таблиця А.1 – Деталізація мети методом SMART

Specific (конкретна)	Розробка інформаційної технології для онлайн оцінювання надійності людино-машинної взаємодії в автоматизованих технологічних комплексах.
Measurable (вимірювана)	Ефективність розпізнавання елементів функціональної мережі та онлайн оцінювання надійності діяльності операторів.
Achievable (досяжна)	Використання засобів опису предикатів, запропонованих Адаменко А. М., та відомих математичних залежностей для оцінювання типових функціональних структур.
Relevant (реалістична)	Забезпечення автоматизації ідентифікації типових функціональних структур та можливість онлайн розрахунків, в тому числі в мережі інтернет.
Time-framed (обмежена у часі)	Час на розробку та впровадження технології буде визначено на основі сформованого календарного плану проекту.

### Планування змісту структури робіт проекту (WBS).

Структура декомпозиції робіт (WBS) є ключовим інструментом в проектному менеджменті, який дозволяє систематизувати та розподілити роботу по проекту на більш маніпульовані та керовані компоненти.

Ієрархічна структура WBS включає розбиття проекту на фази, кінцеві результати та пакети робіт. Це дозволяє здійснити більш ефективне планування та керування проектом шляхом чіткого розподілу завдань.

WBS надає загальний каркас для планування та контролю проекту, дозволяючи розбити його на менші, керовані елементи. Це сприяє більш ефективному використанню ресурсів та визначенню відповідальності за кожен аспект проекту.

WBS дозволяє зібрати витрати на вищий рівень "батьківських" задач, що дозволяє керувати бюджетом проекту та ресурсами більш ефективно.

WBS організовується навколо ключових продуктів проекту, що дозволяє краще розуміти зв'язок між завданнями та кінцевими результатами.

Процес розробки WBS включає визначення ступеня деталізації, кількості рівнів, розробку структури кожного рівня, підготовку опису елементів WBS,

формування системи кодування та проведення зворотних обчислень. Цей процес допомагає створити чітку та логічну структуру проекту.

WBS може бути використана для об'єднання робіт, організаційних структур і відповідальності за роботу з підсистемами планування, оцінки, розподілу витрат і ресурсів, аналізу, контролю та обліку в єдину взаємопов'язану інтегровану систему управління проектом.

Оголошення про побудову таблиці WBS є важливим кроком у реалізації проекту, оскільки це створює основу для подальшого планування та виконання робіт.

На рисунку А.1 приведена WBS-структура даного проекту.

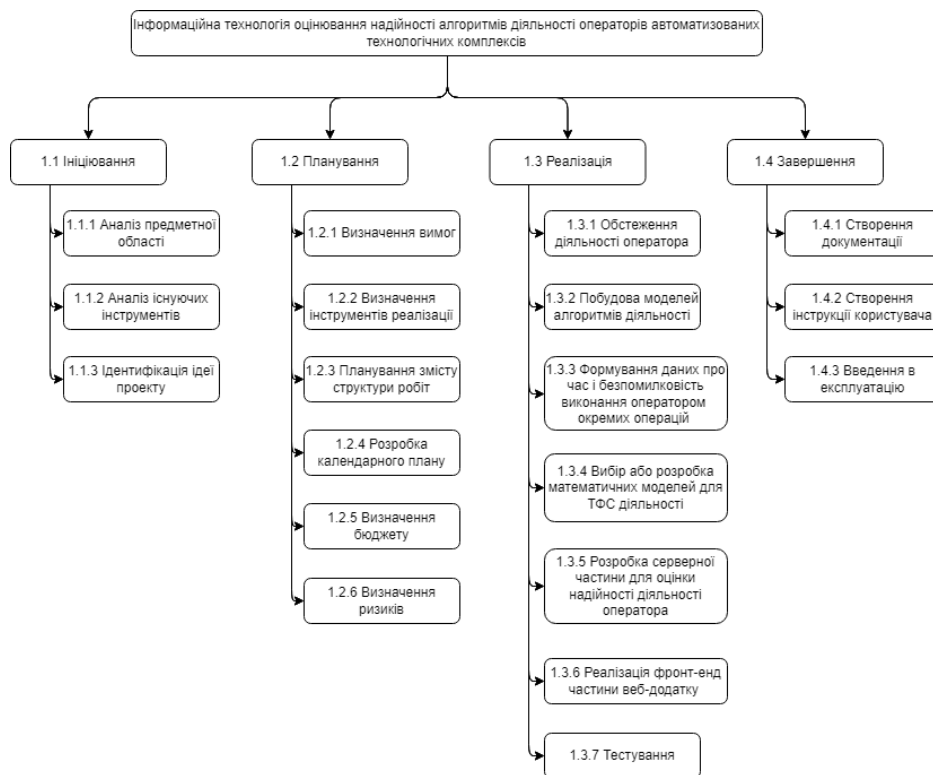


Рисунок А.1 – WBS-структура проекту

## Організаційна структура проекту.

Організаційна структура проекту (ОБС) - це ієрархічна модель, яка визначає відповідальність, владу та зв'язки між членами команди. Її мета - забезпечити чітке розподіл відповідальності та обмеження, щоб уникнути непорозумінь.

Створення OBS починається з визначення ключових ролей в проекті, а потім додавання підрозділів та осіб, які виконують конкретні завдання.

На першому рівні OBS знаходиться керівник проекту, який відповідає за загальне керівництво проектом.

На другому та нижчих рівнях розташовані основні організаційні елементи, такі як менеджери проектів, команди та окремі виконавці.

На найнижчому рівні знаходяться базові робочі групи або окремі виконавці, які виконують конкретні завдання в рамках проекту.

Найнижчі елементи WBS відображають конкретні завдання, які мають бути виконані.

Об'єднання WBS та OBS допомагає забезпечити, що всі завдання проекту відповідають відповідним ролям та відповідальностям. Менеджер проекту відіграє ключову роль в цій ієрархії.

Розподіл робочого пакету та розбиття OBS до рівня груп допомагає забезпечити, що всі завдання та відповідальності чітко визначені та розподілені.

Роботи найнижчого рівня WBS притаманні як WBS, так і OBS, що забезпечує цілісність та зв'язність управління проектом. Будуємо таблицю OBS (рис. А.2).

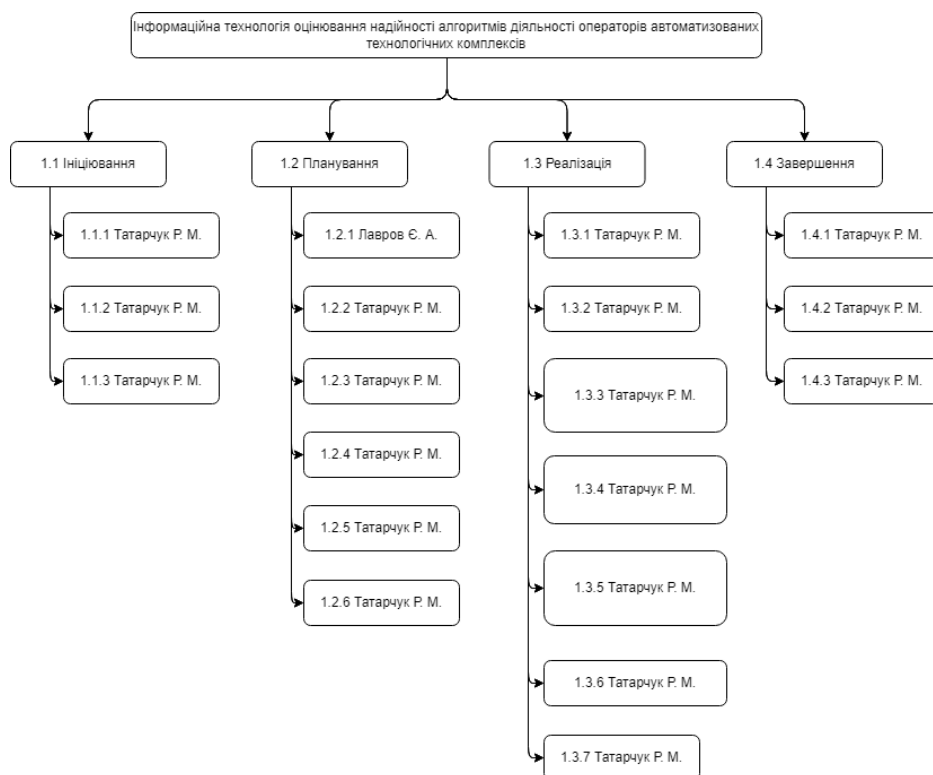


Рисунок А.2 – OBS-структура проекту

### Побудова календарного графіка виконання ІТ-проекту.

Календарний графік проекту - це важливий інструмент управління проектами, який допомагає візуалізувати роботу, що має бути виконана, та час, необхідний для її виконання. Він складається з ряду завдань, їх тривалості, початкових та кінцевих дат, а також залежностей між ними.

Календарний графік відіграє важливу роль у плануванні, відстеженні та контролі проекту. Він дозволяє команді проекту бачити, які завдання мають бути виконані, коли вони повинні бути завершені. Це допомагає уникнути затримок і забезпечує, що всі члени команди розуміють свої обов'язки.

У контексті ІТ проектів, календарний графік може бути особливо корисним для визначення тривалості різних етапів проекту, таких як аналіз вимог, проектування, розробка, тестування та впровадження. Він також може допомогти в ідентифікації критичного шляху - послідовності завдань, які визначають загальний час проекту.

Task Name	Тривалість	Початок	Завершенн	Ціна
<b>Інформаційна технологія оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів</b>	<b>49 днів</b>	<b>Пн 04.03.24</b>	<b>Ср 08.05.24</b>	<b>10 090,00 €</b>
<b>Ініціювання</b>	<b>3 днів</b>	<b>Пн 04.03.24</b>	<b>Ср 06.03.24</b>	<b>1 200,00 €</b>
Аналіз предметної області	1 день	Пн 04.03.24	Пн 04.03.24	400,00 €
Аналіз існуючих інструментів	1 день	Вт 05.03.24	Вт 05.03.24	400,00 €
Ідентифікація ідеї проекту	1 день	Ср 06.03.24	Ср 06.03.24	400,00 €
<b>Планування</b>	<b>13 днів</b>	<b>Чт 07.03.24</b>	<b>Пт 22.03.24</b>	<b>3 500,00 €</b>
Визначення вимог	3 днів	Чт 07.03.24	Сб 09.03.24	1 500,00 €
Визначення інструментів реалізації	2 днів	Пн 11.03.24	Вт 12.03.24	400,00 €
Планування змісту структури робіт	2 днів	Ср 13.03.24	Чт 14.03.24	400,00 €
Розробка календарного плану	2 днів	Пт 15.03.24	Пн 18.03.24	400,00 €
Визначення бюджету	2 днів	Вт 19.03.24	Ср 20.03.24	400,00 €
Визначення ризиків	2 днів	Чт 21.03.24	Пт 22.03.24	400,00 €
<b>Реалізація</b>	<b>30 днів</b>	<b>Пн 25.03.24</b>	<b>Пт 03.05.24</b>	<b>4 760,00 €</b>
Обстеження діяльності оператора	5 днів	Пн 25.03.24	Пт 29.03.24	600,00 €
Побудова моделей алгоритмів діяльності	5 днів	Пн 01.04.24	Пт 05.04.24	800,00 €
Формування даних про час і безпомилковість виконання оператором окремих операцій	4 днів	Пн 08.04.24	Чт 11.04.24	600,00 €
Вибір або розробка математичних моделей для ТФС діяльності	4 днів	Пт 12.04.24	Ср 17.04.24	600,00 €
Розробка серверної частини для оцінки надійності діяльності оператора	5 днів	Чт 18.04.24	Ср 24.04.24	1 100,00 €
Реалізація фронт-енд частини веб-додатку	6 днів	Чт 25.04.24	Чт 02.05.24	860,00 €
Тестування	2 днів	Чт 02.05.24	Пт 03.05.24	200,00 €
<b>Завершення</b>	<b>3 днів</b>	<b>Пн 06.05.24</b>	<b>Ср 08.05.24</b>	<b>630,00 €</b>
Створення документації	1 день	Пн 06.05.24	Пн 06.05.24	210,00 €
Створення інструкції користувача	1 день	Вт 07.05.24	Вт 07.05.24	210,00 €
Введення в експлуатацію	1 день	Ср 08.05.24	Ср 08.05.24	210,00 €

Рисунок А.3 – Представлення календарного графіка проекту

На рисунку А.3 наведено приклад календарного графіка проекту, який включає в себе послідовність завдань, їх терміни виконання та залучені ресурси.

Діаграма Ганта - це графічний інструмент, що відображає послідовність завдань у часі. Вона дозволяє візуалізувати розподіл роботи та керувати часом ефективно.

Діаграма Ганта використовується для відстеження виконання завдань, керування ресурсами та вирішення проблем. Вона дозволяє швидко ідентифікувати можливі затримки та ресурсні конфлікти та приймати вчасні корективні заходи.

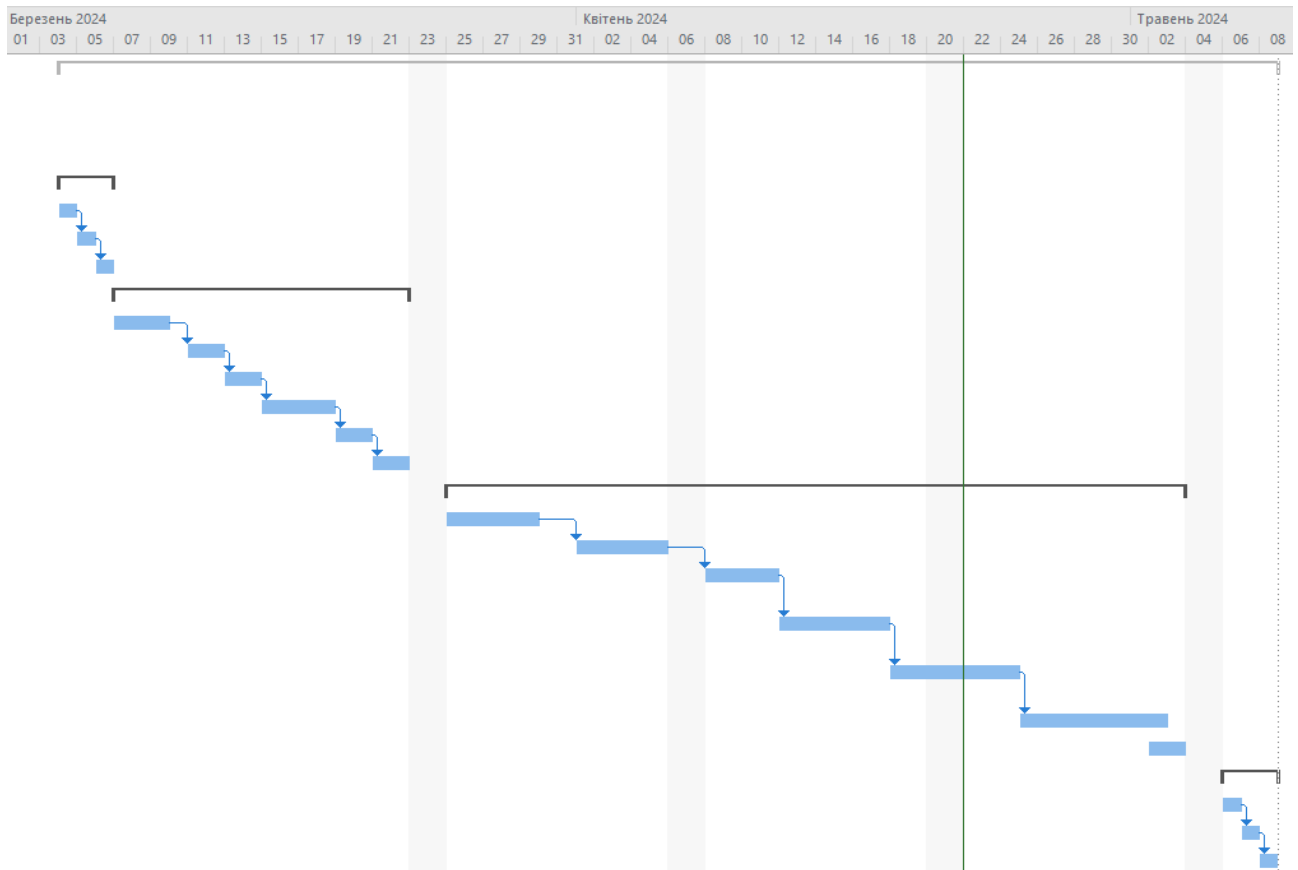


Рисунок А.4 – Представлення діаграми Ганта проекту

На рисунку А.4 зображено діаграму Ганта проекту, яка ілюструє послідовність та тривалість виконання завдань у часі.

Календарний графік та діаграма Ганта є необхідними інструментами для успішного управління ІТ проектами, забезпечуючи чітке планування, ефективне виконання завдань та своєчасне досягнення поставлених цілей.

### **Планування ризиків проекту.**

Планування ризиків проекту - це важливий етап управління проектом, який включає ідентифікацію, аналіз та відповідь на потенційні ризики, які можуть вплинути на успішне виконання проекту. Нижче наведено таблиці, які допоможуть нам краще розуміти та планувати ризики вашого проекту.

Таблиця А.2 включає інформацію про різні ризики, їх причини та шляхи вирішення. Це допоможе нам краще розуміти, які ризики можуть виникнути під час виконання проекту, їх причини та можливі шляхи вирішення цих ризиків.

Таблиця А.2 – Визначення ризиків

№	Назва ризику	Причини виникнення	Шляхи вирішення
1	Вихід з ладу апаратного забезпечення	Вихід із ладу компонентів ПК/ноутбука	Звернення до сервісного центру для ремонту апаратного забезпечення
2	Видалення програми/звіту	1. Людський фактор 2. Зараження вірусами ПК/ноутбука	1. Використовувати засоби для резервного копіювання (зберегти копії на флеш-носії, також збереження копії, наприклад, на Google Диск) 2. Своєчасне оновлення/інсталяція антивірусного забезпечення
3	Відсутність інтернету	Проблеми з провайдером, технічні збої	Звернення до служби підтримки провайдера
4	Збій у роботі програми	Некоректне написання коду	Протестувати програму на помилки та виправити їх
5	Хвороба студента-виконавця	1. Захворювання 2. Нещасний випадок	Забезпечити своєчасне звернення до лікаря
6	Некоректно сформовані вимоги	Недостатнє розуміння задачі	Провести додаткові зустрічі для уточнення вимог

Таблиця А.3 включає інформацію про ймовірність виникнення кожного ризику та потенційні втрати від кожного ризику. Ризики за ймовірністю їх виникнення, можемо їх розділити на: мінімальна, низька, середня, висока, максимальна. Величина втрат має такі рівні: мінімальні, незначні, допустимі, значні, максимальні.



Таблиця А.3 – Імовірність виникнення ризику і втрати

№	Назва ризику	Імовірність виникнення	Втрати
1	Вихід з ладу апаратного забезпечення	2	4
2	Видалення програми/звіту	3	4
3	Відсутність інтернету	2	3
4	Збій у роботі програми	2	3
5	Хвороба студента-виконавця	2	2
6	Некоректно сформовані вимоги	3	4

Таблиця А.4 – це матриця, яка використовується для візуального представлення рівня ризику, заснованого на двох основних компонентах ризику: ймовірності виникнення ризику та потенційних втратах або впливі ризику. Кольори в матриці (від зеленого до червоного) відображають рівень ризику. Зелений колір вказує на низький ризик, жовтий - на середній ризик, а червоний - на високий ризик.

Таблиця А.4 – Матриця ймовірності втрат

Імовірність	<b>5</b>					
	<b>4</b>					
	<b>3</b>				2, 6	
	<b>2</b>		5	3, 4	1	
	<b>1</b>					
Втрати		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

## ДОДАТОК Б

## Лістинги програм

## Лістинг Б.1 – Програма редукції (Prolog)

```

copy_structure(SessionId, I, X) :-
    structure(SessionId, I, "R", X, Y, N),
    X < Y,
    characteristics(SessionId, I, "R", X, B, M, D),
    I1 is I + 1,
    not(structure(SessionId, I1, "R", X, Y, N)),
    assertz(structure(SessionId, I1, "R", X, Y, N)),
    assertz(characteristics(SessionId, I1, "R", X, B, M, D)),
    copy_structure(SessionId, I, Y);

    structure(SessionId, I, "K", X, Y, U, N),
    characteristics(SessionId, I, "K", X, K11, K00, M, D),
    I1 is I + 1,
    assertz(structure(SessionId, I1, "K", X, Y, U, N)),
    assertz(characteristics(SessionId, I1, "K", X, K11, K00, M, D)),
    copy_structure(SessionId, I, Y),
    copy_structure(SessionId, I, U);

    structure(SessionId, I, "R", X, Y, N),
    X > Y,
    characteristics(SessionId, I, "R", X, B, M, D),
    I1 is I + 1,
    assertz(structure(SessionId, I1, "R", X, Y, N)),
    assertz(characteristics(SessionId, I1, "R", X, B, M, D));

    structure(SessionId, I, N, X, Y),
    I1 is I + 1,
    assertz(structure(SessionId, I1, N, X, Y)),
    copy_structure(SessionId, I, Y);
!.

reduce_RR(SessionId, I) :-
    structure(SessionId, I, "R", X, Y, N),
    structure(SessionId, I, "R", Y, Z, 1),
    retract(structure(SessionId, I, "R", X, Y, N)),
    retract(structure(SessionId, I, "R", Y, Z, 1)),
    assert(structure(SessionId, I, "R", X, Z, N)),
    calc_RR(SessionId, I, X, Y),
    reduce_RR(SessionId, I);
!.

reduce_RK(SessionId, I) :-
    structure(SessionId, I, "R", X, Y, N),

```

```

structure(SessionId, I, "K", Y, Z, X, 1),
N1 is N - 1,
retract(structure(SessionId, I, "R", X, Y, N)),
retract(structure(SessionId, I, "K", Y, Z, _, 1)),
assert(structure(SessionId, I, "R", X, Z, N1)),
calc_RK(SessionId, I, X, Y),
reduce_RK(SessionId, I);
!.

```

```

reduce_RKR(SessionId, I) :-
structure(SessionId, I, "R", X, Y, N),
structure(SessionId, I, "K", Y, Z, U, 1),
structure(SessionId, I, "R", U, X, 1),
N1 is N - 1,
retract(structure(SessionId, I, "R", X, Y, N)),
retract(structure(SessionId, I, "K", Y, Z, U, 1)),
retract(structure(SessionId, I, "R", U, X, 1)),
assert(structure(SessionId, I, "R", X, Z, N1)),
calc_RKR(SessionId, I, X, Y, U),
reduce_RKR(SessionId, I);
!.

```

```

find_RK(SessionId, I) :-
structure(SessionId, I, "R", X, Y, _),
structure(SessionId, I, "K", Y, _, X, 1),
assert(red(SessionId, I, "RK")),
!.

```

```

find_RR(SessionId, I) :-
structure(SessionId, I, "R", X, Y, _),
X < Y,
structure(SessionId, I, "R", Y, _, 1),
assert(red(SessionId, I, "RR")),
!.

```

```

find_RKR(SessionId, I) :-
structure(SessionId, I, "R", X, Y, _),
structure(SessionId, I, "K", Y, _, U, 1),
structure(SessionId, I, "R", U, X, 1),
assert(red(SessionId, I, "RKR")),
!.

```

```

reduce(SessionId, I) :-
find_RR(SessionId, I),
copy_structure(SessionId, I, 1),
I1 is I + 1,
reduce_RR(SessionId, I1),
reduce(SessionId, I1);
find_RK(SessionId, I),
copy_structure(SessionId, I, 1),
I1 is I + 1,

```

```

reduce_RK(SessionId, I1),
reduce(SessionId, I1);
find_RKR(SessionId, I),
copy_structure(SessionId, I, 1),
I1 is I + 1,
reduce_RKR(SessionId, I1),
reduce(SessionId, I1);
!.

```

```

calc_RR(SessionId, I, X, Y) :-
characteristics(SessionId, I, "R", X, B1, M1, D1),
characteristics(SessionId, I, "R", Y, B2, M2, D2),
B is B1 * B2,
M is M1 + M2,
D is D1 + D2,
retract(characteristics(SessionId, I, "R", X, B1, M1, D1)),
retract(characteristics(SessionId, I, "R", Y, B2, M2, D2)),
assertz(characteristics(SessionId, I, "R", X, B, M, D)).

```

```

calc_RK(SessionId, I, X, Y) :-
characteristics(SessionId, I, "R", X, B1, M1, D1),
characteristics(SessionId, I, "K", Y, K11, K00, M2, D2),
B0 is 1 - B1,
K10 is 1 - K11,
M1 is 1 / (1 - (B1 * K10 + B0 * K00)),
B is B1 * K11 * M1,
M is (M1 + M2) * M1,
D1 is (B1 * K10 + B0 * K00) / ((1 - (B1 * K10 + B0 * K00)) * (1 -
(B1 * K10 + B0 * K00))),
D is D1 * ((M1 + M2) * (M1 + M2)) + (D1 + D2) * M1,
round(B, 8, BB),
round(M, 3, MM),
round(D, 3, DD),
retract(characteristics(SessionId, I, "R", X, B1, M1, D1)),
retract(characteristics(SessionId, I, "K", Y, K11, K00, M2, D2)),
assertz(characteristics(SessionId, I, "R", X, BB, MM, DD)).

```

```

calc_RKR(SessionId, I, X, Y, Z) :-
characteristics(SessionId, I, "R", X, B11, M1, D1),
characteristics(SessionId, I, "K", Y, K11, K00, Mk, Dk),
characteristics(SessionId, I, "R", Z, B12, M2, D2),
B02 is 1 - B12,
K01 is 1 - K00,
B is (B11 * K11 * (1 - K00 * B02)) / (K01 + B11 * B12 * (K11 - K01)),
B01 is 1 - B11,
K10 is 1 - K11,
B1 is B11 * B12,
B0 is 1 - B1,
M1 is (B11 * K10 + B01 * K00) / (1 - (B1 * K10 + B0 * K00)),
M is M1 + Mk + (M1 + M2 + Mk) * M1,

```

```

    D10 is (B11 * K10 + B01 * K00) / ((1 - (B1 * K10 + B0 * K00)) * (1
- (B1 * K10 + B0 * K00))),
    D11 is (B11 * K11 + B01 * K01) / ((1 - (B1 * K10 + B0 * K00)) * (1
- (B1 * K10 + B0 * K00))),
    D is D1 + Dk + (D1 + D2 + Dk) * M1 + D10 * M1 * D11 * ((M1 + M2 +
Mk) * (M1 + M2 + Mk)),
    round(B, 8, BB),
    round(M, 3, MM),
    round(D, 3, DD),
    retract(characteristics(SessionId, I, "R", X, B11, M1, D1)),
    retract(characteristics(SessionId, I, "K", Y, K11, K00, Mk, Dk)),
    retract(characteristics(SessionId, I, "R", Z, B12, M2, D2)),
    assertz(characteristics(SessionId, I, "R", X, BB, MM, DD)).

round(X, N, Result) :-
    Scale is 10^N,
    Result is round(X * Scale) / Scale.

```

## Лістинг Б.2 – Програма управління процесом обробки запитів (Prolog)

```

:- use_module(library(http/thread_httpd)).
:- use_module(library(http/http_dispatch)).
:- use_module(library(http/http_json)).
:- use_module(library(http/http_session)).
:- use_module(library(http/http_log)).
:- use_module(library(http/http_cors)).
:- use_module('reduce.pl').

:- http_handler('/parsejson', handler_request, []).

:- set_setting_default(http:cors, ['http://reduce.ua']).

% Запуск HTTP сервера на порту 8000
server(Port) :-
    http_server(http_dispatch, [port(Port)]).

handler_request(Request) :-
    option(method(options), Request),
    !,
    cors_enable(Request, [methods([get,post,delete]))],
    format('Content-type: application/json\r\n'),
    format('~n').

handler_request(Request) :-
    cors_enable,
    http_session_id(SessionId),
    http_read_json_dict(Request, JSONIn),
    process_json(JSONIn, SessionId),
    reduce(SessionId, 0),
    to_json(SessionId, Json),
    remove_facts(SessionId),
    reply_json_dict(Json).

```

```

process_json([], _SessionId).
process_json([Json|Rest], SessionId) :-
    assertz_fact(Json, SessionId),
    process_json(Rest, SessionId).

assertz_fact(Json, SessionId) :-
    Json = _{name:NAME, number:X, next_num:Y},
    assertz(structure(SessionId, 0, NAME, X, Y)).

assertz_fact(Json, SessionId) :-
    Json = _{name:NAME, number:X, next_num:Y, connections:N, b1:B1,
mt:MT, dt:DT},
    assertz(structure(SessionId, 0, NAME, X, Y, N)),
    assertz(characteristics(SessionId, 0, NAME, X, B1, MT, DT)).

assertz_fact(Json, SessionId) :-
    Json = _{name:NAME, number:X, next_num:Y, return_num:Z,
connections:N, k11:K11, k00:K00, mt:MT, dt:DT},
    assertz(structure(SessionId, 0, NAME, X, Y, Z, N)),
    assertz(characteristics(SessionId, 0, NAME, X, K11, K00, MT, DT)).

to_json(SessionId, JsonList) :-
    findall(Item, (
        (
            red(SessionId, Step, Name),
            Item = json(['step'=Step, 'name'=Name])
            ;
            structure(SessionId, Step, Name, Number, NextNum),
            Item = json(['step'=Step, 'name'=Name, 'number'=Number,
'next_num'=NextNum])
            ;
            structure(SessionId, Step, Name, Number, NextNum,
Connections),
            ( characteristics(SessionId, Step, Name, Number, B1, MT,
DT) ->
                Item = json(['step'=Step, 'name'=Name, 'number'=Number,
'next_num'=NextNum, 'connections'=Connections, 'b1'=B1, 'mt'=MT,
'dt'=DT])
                ;
                false
            )
            ;
            structure(SessionId, Step, Name, Number, NextNum, ReturnNum,
Connections),
            ( characteristics(SessionId, Step, Name, Number, K11, K00,
MT, DT) ->
                Item = json(['step'=Step, 'name'=Name, 'number'=Number,
'next_num'=NextNum, 'return_num'=ReturnNum, 'connections'=Connections,
'k11'=K11, 'k00'=K00, 'mt'=MT, 'dt'=DT])
                ;
                false
            )
        )
    )

```

```

    )
  )
  ), JsonList).

remove_facts(SessionId) :-
  retractall(red(SessionId, _, _)),
  retractall(structure(SessionId, _, _, _, _)),
  retractall(structure(SessionId, _, _, _, _, _)),
  retractall(structure(SessionId, _, _, _, _, _, _)),
  retractall(characteristics(SessionId, _, _, _, _, _, _)),
  retractall(characteristics(SessionId, _, _, _, _, _, _, _)).

```

### Лістинг Б.3 – Розмітка сайту (HTML)

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="en">

<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-
scale=1.0">
  <link href="bootstrap-5.3.3-dist/css/bootstrap.min.css"
rel="stylesheet"
  integrity="sha384-
QWTKZyjpPEjISv5WaRU90FeRpok6YctnYmDr5pNlyT2bRjXh0JMHjY6hW+ALEwIH"
crossorigin="anonymous">
  <script src="bootstrap-5.3.3-dist/js/bootstrap.bundle.min.js"
  integrity="sha384-
YvpcrYf0tY3lHB60NNkmXc5s9fDVZLESaAA55NDzOxhy9GkcIdslK1eN7N6jIeHz"
  crossorigin="anonymous"></script>
  <title>Document</title>
  <script
src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/3.5.1/jquery.min.js"
></script>

  <script src="script.js"></script>
</head>

<body>
  <style>
    .value {
      min-width: 75px;
    }
  </style>
  <div class="container py-5">
    <h1 class="pb-2 border-bottom">Reduction</h1>
    <div class="row">
      <div class="col-9">
        <form id="myForm">
          <div class="table-responsive">
            <h3 class="p-2">Structure</h3>

```

```

<table id="structure" class="p-1 table table-
bordered">
    <thead>
        <tr>
            <th>NameTFU</th>
            <th>Num TFU</th>
            <th>DesTFU</th>
            <th>Num01</th>
            <th>Num02</th>
            <th>Num03</th>
            <th>Num04</th>
            <th>Num05</th>
            <th>Num06</th>
            <th>Num Conn</th>
            <th></th>
        </tr>
    </thead>
    <tbody>
        <tr>
            <td><select id="name1" class="form-
select-sm" name="name" style="width: 100px;"
                disabled>
                    <option value="craprep"
selected>Starter</option>
                </select></td>
            <td><input id="num1" type="text"
class="value form-control" name="number" value="1"
                disabled>
            </td>
            <td><input
type="text" class="value form-control" name="next_num">
                id="next_num1"
            </td>
            <td></td>
            <td></td>
            <td></td>
            <td></td>
            <td></td>
            <td></td>
            <td></td>
            <td></td>
        </tr>
        <tr>
            <td><select id="name2" class="form-
select-sm" name="name" style="width: 100px;">
                <option value="R"
selected>Work operation</option>
                <option
value="K">Functioning control</option>
            </select></td>
            <td><input id="num2" type="text"
class="value form-control" name="number" value="2"
                disabled>

```



```

                </td>
                <td><input
                    id="marking2"
type="text" class="value form-control" name="marking"
                    disabled></td>
                <td><input
                    id="next_num2"
type="text" class="value form-control" name="next_num">
                </td>
                <td><input
                    id="return_num2"
type="text" class="value form-control" name="return_num"
                    disabled></td>
                <td><input id="value21" type="text"
class="value form-control" name="value"
                    disabled></td>
                <td><input id="value22" type="text"
class="value form-control" name="value"
                    disabled></td>
                <td><input id="value23" type="text"
class="value form-control" name="value"
                    disabled></td>
                <td><input id="value24" type="text"
class="value form-control" name="value"
                    disabled></td>
                <td><input id="conn2" type="text"
class="value form-control" name="connections"
                    disabled></td>
                <td>
                    <button
                        type="button"
class="btn btn-danger" onclick="deleteRow(this)"
                        aria-label="Delete">
                    <svg
xmlns="http://www.w3.org/2000/svg" width="16" height="16"
                        fill="currentColor"
class="bi bi-trash" viewBox="0 0 16 16">
                        <path
                            d="M5.5 5.5A.5.5 0
0 1 6 6v6a.5.5 0 0 1-.5.5m2.5 0a.5.5 0 0 1 .5.5v6a.5.5
0 0 1-.5.5m3 .5a.5.5 0 0 0-1 0v6a.5.5 0 0 0 1 0z" />
                        <path
                            d="M14.5 3a1 1 0 0
1-1 1H13v9a2 2 0 0 1-2 2H5a2 2 0 0 1-2-2V4h-.5a1 1 0 0 1-1-1V2a1 1 0 0
1 1-1H6a1 1 0 0 1 1-1h2a1 1 0 0 1 1 1h3.5a1 1 0 0 1 1 1zM4.118 4 4
4.059V13a1 1 0 0 0 1 1h6a1 1 0 0 0 1-1V4.059L11.882 4zM2.5 3h11V2h-11z"
/>
                    </svg>
                    </button>
                </td>
            </tr>
            <tr>
                <td><select id="name3" class="form-
select-sm" name="name" style="width: 100px;">
                    <option
                        value="R"
selected>Work operation</option>

```

```

                                <option
value="K">Functioning control</option>
                                </select></td>
                                <td><input id="num3" type="text"
class="value form-control" name="number" value="3"
                                disabled>
                                </td>
                                <td><input id="marking3"
type="text" class="value form-control" name="marking"
                                disabled></td>
                                <td><input id="next_num3"
type="text" class="value form-control" name="next_num">
                                </td>
                                <td><input id="return_num3"
type="text" class="value form-control" name="return_num"
                                disabled></td>
                                <td><input id="value31" type="text"
class="value form-control" name="value"
                                disabled></td>
                                <td><input id="value32" type="text"
class="value form-control" name="value"
                                disabled></td>
                                <td><input id="value33" type="text"
class="value form-control" name="value"
                                disabled></td>
                                <td><input id="value34" type="text"
class="value form-control" name="value"
                                disabled></td>
                                <td><input id="conn3" type="text"
class="value form-control" name="connections"
                                disabled></td>
                                <td><button type="button"
class="btn btn-danger" onclick="deleteRow(this)"
                                aria-label="Delete">
                                <svg
xmlns="http://www.w3.org/2000/svg" width="16" height="16"
                                fill="currentColor"
class="bi bi-trash" viewBox="0 0 16 16">
                                <path
                                d="M5.5 5.5A.5.5 0
0 1 6 6v6a.5.5 0 0 1-.5-.5m2.5 0a.5.5 0 0 1 .5.5v6a.5.5
0 0 1-.5-.5m3 .5a.5.5 0 0 0-1 0v6a.5.5 0 0 0 1 0z" />
                                <path
                                d="M14.5 3a1 1 0 0
1-1 1H13v9a2 2 0 0 1-2 2H5a2 2 0 0 1-2-2V4h-.5a1 1 0 0 1-1-1V2a1 1 0 0
1 1-1H6a1 1 0 0 1 1-1h2a1 1 0 0 1 1 1h3.5a1 1 0 0 1 1 1zM4.118 4 4
4.059V13a1 1 0 0 0 1 1h6a1 1 0 0 0 1-1V4.059L11.882 4zM2.5 3h11V2h-11z"
/>
                                </svg>
                                </button></td>
                                </tr>
                                <tr id="last">

```

```

                <td><select id="name4" class="form-
select-sm" name="name" style="width: 100px;"
                disabled>
                <option value="финишер"
selected>финишер</option>
                </select></td>
                <td><input id="num4" type="text"
class="value form-control" name="number" value="4"
                disabled>
                </td>
                <td></td>
                <td><input id="next_num4"
type="text" class="value form-control" name="next_num"
                value="0" disabled></td>
                <td></td>
                <td></td>
                <td></td>
                <td></td>
                <td></td>
                <td></td>
                <td></td>
                <td></td>
                </tr>
            </tbody>
        </table>
    </div>
    <div class="table-responsive">
        <h3 class="p-2">Characteristics</h3>
        <table id="characteristics" class="p-1 table
table-bordered">
            <thead>
                <tr>
                    <th>NameTFU</th>
                    <th>NumTFU</th>
                    <th>DesTFU</th>
                    <th>B1</th>
                    <th>K11</th>
                    <th>K00</th>
                    <th>Mt</th>
                    <th>Dt</th>
                </tr>
            </thead>
            <tbody>
                <tr>
                    <td><input id="namechar2"
type="text" name="name" value="Work operation" disabled>
                    </td>
                    <td><input id="num2" type="text"
class="value form-control" name="number" value="2"
                    disabled>
                    </td>
                    <td><input id="marking2"
type="text" class="value form-control" name="marking"

```

```

                disabled></td>
                <td><input    id="b2"    type="text"
class="value form-control" name="B"></td>
                <td><input    id="k112"   type="text"
class="value form-control" name="K11" disabled>
                </td>
                <td><input    id="k002"   type="text"
class="value form-control" name="K00" disabled>
                </td>
                <td><input    id="mt2"    type="text"
class="value form-control" name="Mt"></td>
                <td><input    id="dt2"    type="text"
class="value form-control" name="Dt"></td>
            </tr>
            <tr>
                <td><input
                id="namechar3"
type="text" name="name" value="Work operation" disabled>
                </td>
                <td><input    id="num3"    type="text"
class="value form-control" name="number" value="3"
                disabled>
                </td>
                <td><input
                id="marking3"
type="text" class="value form-control" name="marking"
                disabled></td>
                <td><input    id="b3"    type="text"
class="value form-control" name="B"></td>
                <td><input    id="k113"   type="text"
class="value form-control" name="K11" disabled>
                </td>
                <td><input    id="k003"   type="text"
class="value form-control" name="K00" disabled>
                </td>
                <td><input    id="mt3"    type="text"
class="value form-control" name="Mt"></td>
                <td><input    id="dt3"    type="text"
class="value form-control" name="Dt"></td>
            </tr>
        </tbody>
    </table>
</div>
</form>

        <button    type="button"    class="btn    btn-secondary"
onclick="addData()">Add row</button>
        <button    type="button"    class="btn    btn-primary"
onclick="reduce()">Collapse</button>
        <button    type="button"    class="btn    btn-warning"
onclick="clearAndRefreshTables()">Clear/Refresh tables</button>

        <div class="reduction">

```

```

        </div>
    </div>
    <div class="col-3 sticky-top" style="height: 100vh;
overflow-y: auto;">
        <ul class="list-group">
            <li class="list-group-item p-1">NameTFU - Name
operation</li>
            <li class="list-group-item p-1">NumTFU - Number
operation</li>
            <li class="list-group-item p-1">DesTFU -
Designation of operation</li>
            <li class="list-group-item p-1">Num01 - Number when
the condition is fulfilled</li>
            <li class="list-group-item p-1">Num02 - Number when
the condition is
                not met by the FC</li>
            <li class="list-group-item p-1">Num03 - Number in
case of
                non-fulfillment by CE</li>
            <li class="list-group-item p-1">Num04 - Number for
continuation of the cycle
</li>
            <li class="list-group-item p-1">Num05 - Number to
exit the cycle</li>
            <li class="list-group-item p-1">Num06 - Number of
repetitions in the
                cycle</li>
            <li class="list-group-item p-1">Num Conn - Number
of connections</li>
            <li class="list-group-item p-1">B1 - Probability of
error-free operation execution</li>
            <li class="list-group-item p-1">K11 - Probability
that the operation to be checked, when actually
                performed correctly, will be
                recognized as correct</li>
            <li class="list-group-item p-1">K00 - Probability
that the operation being checked, when
                actually performed incorrectly, will be
                recognized as incorrect</li>
            <li class="list-group-item p-1">Mt - Mathematical
expectation of the operation execution time</li>
            <li class="list-group-item p-1">Dt - Dispersion of
the execution time</li>
            <li class="list-group-item p-1">OldDesTFU - Old
designation operation</li>
            <li class="list-group-item p-1">NewDesTFU - New
designation operation</li>
        </ul>
    </div>
</div>
</div>

```

```

    <div class="modal fade" id="validationModal" tabindex="-1" aria-
labelledby="validationModalLabel"
    aria-hidden="true">
    <div class="modal-dialog">
    <div class="modal-content">
    <div class="modal-header">
    <h5 class="modal-title"
id="validationModalLabel">Warning</h5>
    <button type="button" class="btn-close" data-bs-
dismiss="modal" aria-label="Закрити"></button>
    </div>
    <div class="modal-body">
    Please fill in all fields.
    </div>
    <div class="modal-footer">
    <button type="button" class="btn btn-secondary"
data-bs-dismiss="modal">Close</button>
    </div>
    </div>
    </div>
    </div>
    <div class="modal fade" id="confirmationModal" tabindex="-1" aria-
labelledby="confirmationModalLabel" aria-hidden="true">
    <div class="modal-dialog">
    <div class="modal-content">
    <div class="modal-header">
    <h5 class="modal-title"
id="confirmationModalLabel">Confirm the action</h5>
    <button type="button" class="btn-close" data-bs-
dismiss="modal" aria-label="Закрити"></button>
    </div>
    <div class="modal-body">
    Are you sure you want to clear the tables?
    </div>
    <div class="modal-footer">
    <button type="button" class="btn btn-secondary" data-bs-
dismiss="modal">Cancel</button>
    <button type="button" class="btn btn-danger"
id="confirmRefreshButton" onclick="refreshTables()">Clear</button>
    </div>
    </div>
    </div>
    </div>
</body>
</html>

```

Лістинг Б.4 – Обмін інформації з Prolog сервером та вивід результату в таблиці (JavaScript)

```

function reduce() {
    var allFilled = true;

```

```

$('input:not([disabled])').each(function () {
    if (!$(this).val().trim()) {
        allFilled = false;
        return false; // Зупинка перебору, якщо знайдено пустий ввід
    }
});

if (allFilled) {

    var data = [];
    $('.reduction').empty()
    $('#structure tbody tr').each(function () {
        var name = $(this).find('select[name="name"]').val();
        const row = $(this).closest('tr');
        const rowNumberInput = row.find("input[name='number']");
        const currentNumber = parseInt(rowNumberInput.val());
        switch (name) {
            case "R":
                var number =
                    parseInt($(this).find('input[name="number"]').val());
                var next_num =
                    parseInt($(this).find('input[name="next_num"]').val());
                var connections =
                    parseInt($(this).find('input[name="connections"]').val());
                var b = parseFloat($('#characteristics tbody
tr').eq(currentNumber - 2).find('input[name="B"]').val());
                var mt = parseFloat($('#characteristics tbody
tr').eq(currentNumber - 2).find('input[name="Mt"]').val());
                var dt = parseFloat($('#characteristics tbody
tr').eq(currentNumber - 2).find('input[name="Dt"]').val());
                data.push({
                    name: name,
                    number: number,
                    next_num: next_num,
                    connections: connections,
                    b1: b,
                    mt: mt,
                    dt: dt
                });
                break;
            case "K":
                var number =
                    parseInt($(this).find('input[name="number"]').val());
                var next_num =
                    parseInt($(this).find('input[name="next_num"]').val());
                var return_num =
                    parseInt($(this).find('input[name="return_num"]').val());
                var connections =
                    parseInt($(this).find('input[name="connections"]').val());
                var k11 = parseFloat($('#characteristics tbody
tr').eq(currentNumber - 2).find('input[name="K11"]').val());

```

```

        var k00 = parseFloat($('#characteristics tbody
tr').eq(currentNumber - 2).find('input[name="K00"]').val());
        var mt = parseFloat($('#characteristics tbody
tr').eq(currentNumber - 2).find('input[name="Mt"]').val());
        var dt = parseFloat($('#characteristics tbody
tr').eq(currentNumber - 2).find('input[name="Dt"]').val());
        data.push({
            name: name,
            number: number,
            next_num: next_num,
            return_num: return_num,
            connections: connections,
            k11: k11,
            k00: k00,
            mt: mt,
            dt: dt
        });
        break;
        case "стартер":
            var number =
parseInt($(this).find('input[name="number"]').val());
            var next_num =
parseInt($(this).find('input[name="next_num"]').val());
            data.push({
                name: name,
                number: number,
                next_num: next_num
            });
            break;
        case "фінішер":
            var number =
parseInt($(this).find('input[name="number"]').val());
            var next_num =
parseInt($(this).find('input[name="next_num"]').val());
            data.push({
                name: name,
                number: number,
                next_num: next_num
            });
            break;
    }
});

var jsonDD = JSON.stringify(data);

$.ajax({
    url: 'http://localhost:8000/parsejson',
    type: 'POST',
    contentType: 'application/json',
    data: jsonDD,
    success: function (data) {
        var maxStep = data.reduce(function (max, obj) {

```



```

        return obj.step > max ? obj.step : max;
    }, -Infinity);

    var sortedData = data.sort(function (a, b) {
        // Спочатку порівнюємо за полем "step"
        if (a.step !== b.step) {
            return a.step - b.step;
        }
        // Якщо "step" однаковий, то порівнюємо за полем
"number"
        return a.number - b.number;
    });

    let totalR = 0;
    let totalK = 0;
    data = data.map(item => {
        if (item.step === 0 && item.name !== "стартер" &&
item.name !== "фінішер") {
            switch (item.name) {
                case "R":
                    totalR += 1;
                    return {
                        ...item,
                        desTFU: item.name + totalR
                    };
                case "K":
                    totalK += 1;
                    return {
                        ...item,
                        desTFU: item.name + totalK
                    };
                default:
                    return item;
            }
        } else {
            return item;
        }
    });

    var re = 0;
    var reduced = [];
    for (let i = 1; i <= maxStep; i++) {
        var step = $('<h2>', { class: 'pt-5 py-2 border-
bottom border-2', text: 'Step ' + i });
        var structure = $('<h4>', { class: 'py-2', text:
'Structure' });
        var characteristics = $('<h4>', { class: 'py-2',
text: 'Characteristics' });
        var button = $('<button>', {
            class: 'btn btn-primary',

```

```

        type: 'button',
        'data-bs-toggle': 'collapse',
        'data-bs-target': '#reduceStep' + i,
        text: 'Reduction in ' + i + ' step'
    });
    var paragraph = $('<p>').append(button);
    $('body').append(paragraph);
    // Створення елемента div з класом collapse та
додавання його після <p> елементу
    var collapseDiv = $('<div>', {
        class: 'collapse',
        id: 'reduceStep' + i
    });
    var cardDiv = $('<div>', { class: 'card card-body'
});
    var tableReduced = $('<table>', { class: 'table
table-striped
table-bordered'
}).append($('<thead>').append($('<tr>').append(
    $('<th>', { text: 'OldDesTFU' }),
    $('<th>', { text: 'Num TFU' }),
    $('<th>', { text: 'Num01' }),
    $('<th>', { text: 'Num02' }),
    $('<th>', { text: 'DesTFS' }),
    $('<th>', { text: 'NewDesTFU' })
))).append($('<tbody>'));

    var table1 = $('<table>', { id: 'structureStep' +
i,
    class: 'table
table-bordered'
}).append($('<thead>').append($('<tr>').append(
    $('<th>', { text: 'NameTFU' }),
    $('<th>', { text: 'Num TFU' }),
    $('<th>', { text: 'DesTFU' }),
    $('<th>', { text: 'Num01' }),
    $('<th>', { text: 'Num02' }),
    $('<th>', { text: 'Num03' }),
    $('<th>', { text: 'Num04' }),
    $('<th>', { text: 'Num05' }),
    $('<th>', { text: 'Num06' }),
    $('<th>', { text: 'Num Conn' })
))).append($('<tbody>'));

    var table2 = $('<table>', { id:
'characteristicsStep' + i,
    class: 'table
table-bordered'
}).append($('<thead>').append($('<tr>').append(
    $('<th>', { text: 'NameTFU' }),
    $('<th>', { text: 'Num TFU' }),
    $('<th>', { text: 'DesTFU' }),
    $('<th>', { text: 'B1' }),
    $('<th>', { text: 'K11' }),
    $('<th>', { text: 'K00' }),
    $('<th>', { text: 'Mt' }),

```

```

        $('<th>', { text: 'Dt' })
    ))).append($('<tbody>'));

    data.filter(obj => obj.step === i).forEach(obj => {
        // Додавання R1, R2 і т.д. в наступних кроках
        data.filter(obj1 => obj1.step === (i - 1) &&
obj1.number === obj.number && obj1.next_num ===
obj.next_num).forEach(obj1 => {
            data = data.map(item => {
                if (item.step === obj.step &&
item.number === obj.number) {
                    switch (item.name) {
                        case "R":
                            return {
                                ...item,
                                desTFU: obj1.desTFU
                            };
                        case "K":
                            return {
                                ...item,
                                desTFU: obj1.desTFU
                            };
                        default:
                            return item;
                    }
                } else {
                    return item;
                }
            });
        });

        var tfs = '';
        var count = 0;
        var lastNum = 0;
        data.filter(obj1 => obj1.step === (i - 1) &&
obj1.number > obj.next_num).forEach(obj1 => {
            if (obj1.next_num === obj.next_num &&
(obj.next_num - obj.number) <= -1 && obj.next_num !== 0) {
                lastNum = obj1.number;
            }
        });
        if (((obj.next_num - obj.number) > 1 ||
(obj.next_num - obj.number) <= -1) && obj.name !== "K" && obj.next_num
!== 0) {
            re += 1;
            data.filter(obj1 => obj1.step === (i -
1)).forEach(obj1 => {
                switch (obj1.name) {
                    case "RR":
                        tfs = obj1.name;
                        break;
                    case "RK":

```

```

        tfs = obj1.name;
        break;
    case "RKR":
        tfs = obj1.name;
        break;
    }

    if (obj1.number >= obj.number &&
obj1.number < obj.next_num) {
        if ((obj1.next_num - obj1.number) >
1 && obj1.name !== "K") {
            reduced.filter(red =>
red.number === obj1.number).forEach(red => {
                desTFU = red.desNewTFU;
            });
        } else {
            desTFU = obj1.desTFU;
        }
        desNewTFU = "Re" + re;
        reduced.push({
            step: obj.step,
            desTFU: desTFU,
            number: obj1.number,
            next_num: obj1.next_num,
            return_num: obj1.return_num !==
undefined ? obj1.return_num : '',
            desTFS: tfs,
            desNewTFU: desNewTFU
        });
        reduced.filter(red => red.desNewTFU
=== desNewTFU).forEach(red => {
            count += 1;
        });
    } else if (obj1.number >= obj.number &&
obj1.number <= lastNum && lastNum !== 0) {
        if ((obj1.next_num - obj1.number) >
1 && obj1.name !== "K") {
            reduced.filter(red =>
red.number === obj1.number).forEach(red => {
                desTFU = red.desNewTFU;
            });
        } else {
            desTFU = obj1.desTFU;
        }
        desNewTFU = "Re" + re;
        reduced.push({
            step: obj.step,
            desTFU: desTFU,
            number: obj1.number,
            next_num: obj1.next_num,
            return_num: obj1.return_num !==
undefined ? obj1.return_num : '',

```

```

        desTFS: tfs,
        desNewTFU: desNewTFU
    });
    reduced.filter(red => red.desNewTFU
=== desNewTFU).forEach(red => {
        count += 1;
    });
    }
    });
    if (count === 1) {
        re -= 1;
        reduced = reduced.filter(red =>
red.desNewTFU !== desNewTFU)
    }

    // Додавання Re1, Re2 і т.п.
    reduced.filter(red => red.step === obj.step
&& red.number === obj.number).forEach(red => {
        data = data.map(item => {
            if (item.step === obj.step &&
item.number === obj.number) {
                switch (item.name) {
                    case "R":
                        return {
                            ...item,
                            desTFU:
red.desNewTFU
                        };
                    case "K":
                        return {
                            ...item,
                            desTFU:
red.desNewTFU
                        };
                    default:
                        return item;
                }
            } else {
                return item;
            }
        });
    });
    }

    });

    reduced.filter(item => item.step ===
i).forEach(item => {
        var trReduced = $('<tr>');
        trReduced.append(

```



```

        );
        tr2.append(
            $('<td>', { text: obj.number }),
            $('<td>', { text: obj.desTFU }),
            $('<td>', { text: obj.b1 !== undefined ?
toFixedDown(obj.b1, 5) : '' }),
            $('<td>', { text: obj.k11 !== undefined ?
obj.k11.toFixed(3) : '' }),
            $('<td>', { text: obj.k00 !== undefined ?
obj.k00.toFixed(3) : '' }),
            $('<td>', { text: obj.mt !== undefined ?
obj.mt.toFixed(3) : '' }),
            $('<td>', { text: obj.dt !== undefined ?
obj.dt.toFixed(3) : '' })
        );

        table1.find('tbody').append(tr1);
        table2.find('tbody').append(tr2);
    });
    var divTable1 = $('<div>', { class: "table-
responsive" });
    var divTable2 = $('<div>', { class: "table-
responsive" });

    table1 = divTable1.append(table1);
    table2 = divTable2.append(table2);
    cardDiv.append(tableReduced);
    collapseDiv.append(cardDiv);

    $('<div>#reduction').append(step, paragraph,
collapseDiv, structure, table1, characteristics, table2);
    },
    error: function (xhr, status, error) {
        console.error('Сталася помилка:', error);
    }
    });
} else {
    $('#validationModal').modal('show');
}
}

```

## ДОДАТОК В

### Приклади результатів роботи програми

#### Приклад 2

1. Графічна модель технології, що оцінюється зображена на рис. В.1.

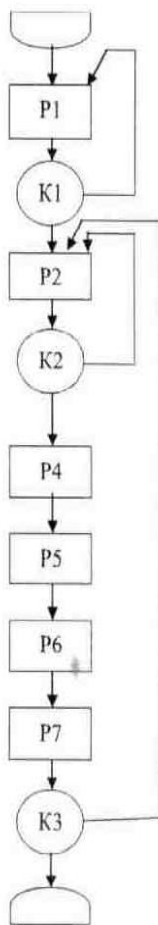


Рисунок В.1 – Графічна модель технології, що оцінюється

2. Початкові дані. В якості початкових дані оберемо дані, які зазвичай використовуються для тестування правильності оцінювання функціональних мереж [6, 87]. Чисельні значення показників наведені в таблицях В.1 і В.2.



Таблиця В.1 – Показники якості виконання робочих ТФО [6, 87]

Показник		Операція						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Ймовірність $B^1$		0,999	0,998	0,997	0,995	0,989	0,999	0,999
Часовий	M, с	5,1	3,0	8,5	1,7	2,3	10,0	9,0
	D, с <sup>2</sup>	0,3	0,4	0,7	0,1	0,2	1,1	0,8

Таблиця В.2 – Показники якості виконання контрольних ТФО [6, 87]

Показник		Операція		
		K1	K2	K3
Ймовірність	$K^{11}$	0,990	0,995	0,997
	$K^{00}$	0,975	0,990	0,990
Часовий	M, с	4,0	4,5	5,0
	D, с <sup>2</sup>	0,7	0,6	1,0

3. Результат введення моделі алгоритму діяльності і початкових даних через інтерфейс (сформовано в підсистемі F) (рис. В.2 і В.3).

## Structure











NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn	
Starter ▼	1		2							
Work opera ▼	2	R1	3						2	
Functioning ▼	3	K1	4	2					1	
Work opera ▼	4	R2	5						3	
Functioning ▼	5	K2	6	4					1	
Work opera ▼	6	R3	7						1	
Work opera ▼	7	R4	8						1	
Work opera ▼	8	R5	9						1	
Work opera ▼	9	R6	10						1	
Work opera ▼	10	R7	11						1	
Functioning ▼	11	K3	12	4					1	
Finisher ▼	12		0							

Рисунок В.2 – Введення моделі алгоритму діяльності

## Characteristics

NameTFU	NumTFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Work operation	2	R1	0.999			5.1	0.3
Functioning control	3	K1		0.990	0.975	4.0	0.7
Work operation	4	R2	0.998			3.0	0.4
Functioning control	5	K2		0.995	0.990	4.5	0.6
Work operation	6	R3	0.997			8.5	0.7
Work operation	7	R4	0.995			1.7	0.1
Work operation	8	R5	0.989			2.3	0.2
Work operation	9	R6	0.999			10.0	1.1
Work operation	10	R7	0.999			9.0	0.8
Functioning control	11	K3		0.997	0.990	5.0	1.0

Рисунок В.3 – Введення початкових даних

4. Формальний опис моделі алгоритму діяльності на мові Prolog (сформовано автоматично в підсистемі O) (рис. В.4)

```

structure('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "старт", 1, 2).
structure('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "фініш", 12, 0).

structure('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 2, 3, 2).
structure('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 4, 5, 3).
structure('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 6, 7, 1).
structure('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 7, 8, 1).
structure('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 8, 9, 1).
structure('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 9, 10, 1).
structure('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 10, 11, 1).

structure('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 3, 4, 2, 1).
structure('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 5, 6, 4, 1).
structure('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 11, 12, 4, 1).

characteristics('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 2, 0.999,
5.1, 0.3).
characteristics('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 4, 0.998,
3, 0.4).
characteristics('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 6, 0.997,
8.5, 0.7).
characteristics('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 7, 0.995,
1.7, 0.1).
characteristics('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 8, 0.989,
2.3, 0.2).
characteristics('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 9, 0.999,
10, 1.1).
characteristics('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 10,
0.999, 9, 0.8).

characteristics('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 3, 0.99,
0.975, 4, 0.7).
characteristics('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 5, 0.995,
0.99, 4.5, 0.6).
characteristics('d526-7f65-f5c2-d685.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 11,
0.997, 0.99, 5, 1).

```

Рисунок В.4 – Формальний опис моделі ФМ (рис. В.1) на мові Prolog (формується автоматично в підсистемі O)

5. Процес оцінювання (послідовність редуції) (сформовано автоматично в підсистемі O, візуалізовано підсистемою F) (рис. В.5-В.9).

## Step 1

Reduction in 1 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
R3	6	7		RR	Re1
R4	7	8		RR	Re1
R5	8	9		RR	Re1
R6	9	10		RR	Re1
R7	10	11		RR	Re1

## Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	R1	3						2
Functioning control	3	K1	4	2					1
Work operation	4	R2	5						3
Functioning control	5	K2	6	4					1
Work operation	6	Re1	11						1
Functioning control	11	K3	12	4					1
Finisher	12		0						

Рисунок В.5 – Візуалізація процесу редуції, проведеної на 1 кроці

## Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	R1	0.99900			5.100	0.300
Functioning control	3	K1		0.990	0.975	4.000	0.700
Work operation	4	R2	0.99800			3.000	0.400
Functioning control	5	K2		0.995	0.990	4.500	0.600
Work operation	6	Re1	0.97914			31.500	2.900
Functioning control	11	K3		0.997	0.990	5.000	1.000
Finisher	12						

Рисунок В.6 – Поточні характеристики операцій ФМ після проведення 1 кроку редуції

## Step 2

Reduction in 2 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
R1	2	3		RK	Re2
K1	3	4	2	RK	Re2
R2	4	5		RK	Re3
K2	5	6	4	RK	Re3

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re2	4						1
Work operation	4	Re3	6						2
Work operation	6	Re1	11						1
Functioning control	11	K3	12	4					1
Finisher	12		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re2	0.99997			9.201	1.939
Work operation	4	Re3	0.99998			7.553	1.405
Work operation	6	Re1	0.97914			31.500	2.900
Functioning control	11	K3		0.997	0.990	5.000	1.000
Finisher	12						

Рисунок В.7 – Редукція на 2 кроці

## Step 3

Reduction in 3 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
Re3	4	6		RR	Re4
Re1	6	11		RR	Re4

## Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re2	4						1
Work operation	4	Re4	11						2
Functioning control	11	K3	12	4					1
Finisher	12		0						

## Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re2	0.99997			9.201	1.939
Work operation	4	Re4	0.97912			39.053	4.305
Functioning control	11	K3		0.997	0.990	5.000	1.000
Finisher	12						

Рисунок В.8 – Редукція на 3 кроці



## Step 4

Reduction in 4 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
Re4	4	11		RK	Re5
K3	11	12	4	RK	Re5

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re2	4						1
Work operation	4	Re5	12						1
Finisher	12		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re2	0.99997			9.201	1.939
Work operation	4	Re5	0.99979			45.118	53.488
Finisher	12						

Рисунок В.9 – Редукція на 4 кроці

6. Підсумковий результат оцінювання (сформовано автоматично в підсистемі О, візуалізовано підсистемою F) (рис. В.10).

## Step 5

Reduction in 5 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
Re2	2	4		RR	Re6
Re5	4	12		RR	Re6

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re6	12						1
Finisher	12		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re6	0.99976			54.319	55.427
Finisher	12						

Рисунок В.10 – Оцінювання результатів надійності діяльності оператора  
( $B1=0.99976$ ,  $M(t)=54,318$ ,  $D(t)=55,385$ )

### Приклад 3

1. Графічна модель технології, що оцінюється зображена на рис. В.11.

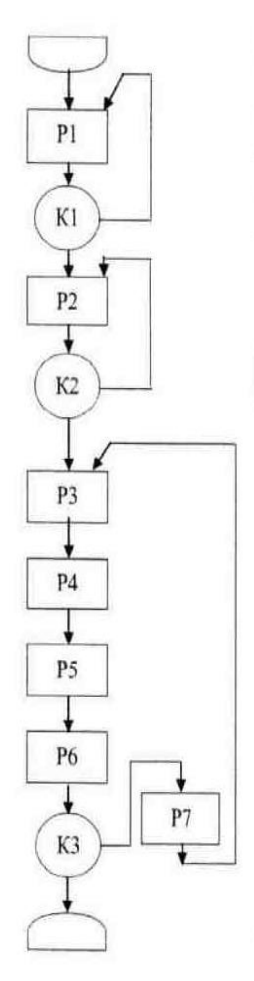


Рисунок В.11 – Графічна модель технології, що оцінюється

2. Початкові дані взяті з таблиць В.1 та В.2.
3. Результат введення моделі алгоритму діяльності і початкових даних через інтерфейс (сформовано в підсистемі F) (рис. В.12 і В.13).

## Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work oper.	2	R1	3						2
Functionin.	3	K1	4	2					1
Work oper.	4	R2	5						2
Functionin.	5	K2	6	4					1
Work oper.	6	R3	7						1
Work oper.	7	R4	8						2
Work oper.	8	R5	9						1
Work oper.	9	R6	10						1
Functionin.	10	K3	12	11					1
Work oper.	11	R7	7						1
Finisher	12		0						

Рисунок В.12 – Введення моделі алгоритму діяльності

## Characteristics

NameTFU	NumTFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Work operation	2	R1	0.999			5.1	0.3
Functioning control	3	K1		0.990	0.975	4.0	0.7
Work operation	4	R2	0.998			3.0	0.4
Functioning control	5	K2		0.995	0.990	4.5	0.6
Work operation	6	R3	0.997			8.5	0.7
Work operation	7	R4	0.995			1.7	0.1
Work operation	8	R5	0.989			2.3	0.2
Work operation	9	R6	0.999			10.0	1.1
Functioning control	10	K3		0.997	0.990	5.0	1.0
Work operation	11	R7	0.999			9.0	0.8

Рисунок В.13 – Введення початкових даних

4. Формальний опис моделі алгоритму діяльності на мові Prolog (сформовано автоматично в підсистемі O) (рис. В.14)

```

structure('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "стартер", 1, 2).
structure('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "фінішер", 12, 0).

structure('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 2, 3, 2).
structure('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 4, 5, 2).
structure('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 6, 7, 1).
structure('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 7, 8, 2).
structure('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 8, 9, 1).
structure('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 9, 10, 1).
structure('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 11, 7, 1).

structure('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 3, 4, 2, 1).
structure('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 5, 6, 4, 1).
structure('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 10, 12, 11, 1).

characteristics('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 2, 0.999,
5.1, 0.3).
characteristics('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 4, 0.998,
3, 0.4).
characteristics('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 6, 0.997,
8.5, 0.7).
characteristics('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 7, 0.995,
1.7, 0.1).
characteristics('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 8, 0.989,
2.3, 0.2).
characteristics('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 9, 0.999,
10, 1.1).
characteristics('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 11,
0.999, 9, 0.8).

characteristics('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 3, 0.99,
0.975, 4, 0.7).
characteristics('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 5, 0.995,
0.99, 4.5, 0.6).
characteristics('3640-3277-b995-5ede.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 10,
0.997, 0.99, 5, 1).

```

Рисунок В.14 – Формальний опис моделі ФМ (рис. В.11) на мові Prolog (формується автоматично в підсистемі O)

5. Процес оцінювання (послідовність редуції) (сформовано автоматично в підсистемі O, візуалізовано підсистемою F) (рис. В.15-В.19).

## Step 1

Reduction in 1 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
R4	7	8		RR	Re1
R5	8	9		RR	Re1
R6	9	10		RR	Re1

## Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	R1	3						2
Functioning control	3	K1	4	2					1
Work operation	4	R2	5						2
Functioning control	5	K2	6	4					1
Work operation	6	R3	7						1
Work operation	7	Re1	10						2
Functioning control	10	K3	12	11					1
Work operation	11	R7	7						1
Finisher	12		0						

Рисунок В.15 – Візуалізація процесу редуції, проведеної на 1 кроці

## Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	R1	0.99900			5.100	0.300
Functioning control	3	K1		0.990	0.975	4.000	0.700
Work operation	4	R2	0.99800			3.000	0.400
Functioning control	5	K2		0.995	0.990	4.500	0.600
Work operation	6	R3	0.99700			8.500	0.700
Work operation	7	Re1	0.98307			14.000	1.400
Functioning control	10	K3		0.997	0.990	5.000	1.000
Work operation	11	R7	0.99900			9.000	0.800
Finisher	12						

Рисунок В.16 – Поточні характеристики операцій ФМ після проведення 1 кроку редуції



## Step 2

Reduction in 2 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
R1	2	3		RK	Re2
K1	3	4	2	RK	Re2
R2	4	5		RK	Re3
K2	5	6	4	RK	Re3

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re2	4						1
Work operation	4	Re3	6						1
Work operation	6	R3	7						1
Work operation	7	Re1	10						2
Functioning control	10	K3	12	11					1
Work operation	11	R7	7						1
Finisher	12		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re2	0.99997			9.201	1.939
Work operation	4	Re3	0.99998			7.553	1.405
Work operation	6	R3	0.99700			8.500	0.700
Work operation	7	Re1	0.98307			14.000	1.400
Functioning control	10	K3		0.997	0.990	5.000	1.000
Work operation	11	R7	0.99900			9.000	0.800
Finisher	12						

Рисунок В.17 – Редукція на 2 кроці

## Step 3

Reduction in 3 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
Re2	2	4		RR	Re4
Re3	4	6		RR	Re4
R3	6	7		RR	Re4

## Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re4	7						1
Work operation	7	Re1	10						2
Functioning control	10	K3	12	11					1
Work operation	11	R7	7						1
Finisher	12		0						

## Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re4	0.99695			25.254	4.044
Work operation	7	Re1	0.98307			14.000	1.400
Functioning control	10	K3		0.997	0.990	5.000	1.000
Work operation	11	R7	0.99900			9.000	0.800
Finisher	12						

Рисунок В.18 – Редукція на 3 кроці

## Step 4

Reduction in 4 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
Re1	7	10		RKR	Re5
K3	10	12	11	RKR	Re5
R7	11	7		RKR	Re5

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re4	7						1
Work operation	7	Re5	12						1
Finisher	12		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re4	0.99695			25.254	4.044
Work operation	7	Re5	0.99983			19.564	2.796
Finisher	12						

Рисунок В.19 – Редукція на 4 кроці

6. Підсумковий результат оцінювання (сформовано автоматично в підсистемі О, візуалізовано підсистемою F) (рис. В.20).

## Step 5

Reduction in 5 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
Re4	2	7		RR	Re6
Re5	7	12		RR	Re6

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re6	12						1
Finisher	12		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re6	0.99678			44.818	6.840
Finisher	12						

Рисунок В.20 – Оцінювання результатів надійності діяльності оператора  
( $B1=0.99678$ ,  $M(t)=44.818$ ,  $D(t)=6.840$ )

### Приклад 4

1. Графічна модель технології, що оцінюється зображена на рис. В.21.

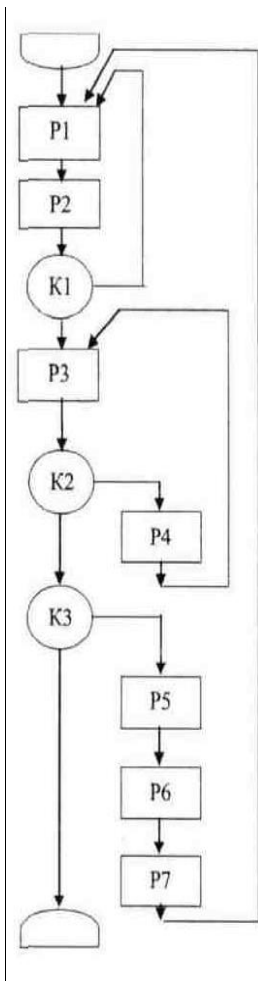


Рисунок В.21 – Графічна модель технології, що оцінюється

2. Початкові дані взяті з таблиць В.1 та В.2.
3. Результат введення моделі алгоритму діяльності і початкових даних через інтерфейс (сформовано в підсистемі F) (рис. В.22 і В.23).

## Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work oper.	2	R1	3						3
Work oper.	3	R2	4						1
Functionin.	4	K1	5	2					1
Work oper.	5	R3	6						2
Functionin.	6	K2	8	7					1
Work oper.	7	R4	5						1
Functionin.	8	K3	12	9					1
Work oper.	9	R5	10						1
Work oper.	10	R6	11						1
Work oper.	11	R7	2						1
Finisher	12		0						

Рисунок В.22 – Введення моделі алгоритму діяльності

## Characteristics

NameTFU	NumTFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Work operation	2	R1	0.999			5.1	0.3
Work operation	3	R2	0.998			3.0	0.4
Functioning control	4	K1		0.990	0.975	4.0	0.7
Work operation	5	R3	0.997			8.5	0.7
Functioning control	6	K2		0.995	0.990	4.5	0.6
Work operation	7	R4	0.995			1.7	0.1
Functioning control	8	K3		0.997	0.990	5.0	1.0
Work operation	9	R5	0.989			2.3	0.2
Work operation	10	R6	0.999			10.0	1.1
Work operation	11	R7	0.999			9.0	0.8

Рисунок В.23 – Введення початкових даних

4. Формальний опис моделі алгоритму діяльності на мові Prolog (сформовано автоматично в підсистемі O) (рис. В.24)

```

structure('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "стартер", 1, 2).
structure('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "фінішер", 12, 0).

structure('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 2, 3, 3).
structure('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 3, 4, 1).
structure('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 5, 6, 2).
structure('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 7, 5, 1).
structure('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 9, 10, 1).
structure('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 10, 11, 1).
structure('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 11, 2, 1).

structure('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 4, 5, 2, 1).
structure('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 6, 8, 7, 1).
structure('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 8, 12, 9, 1).

characteristics('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 2, 0.999,
5.1, 0.3).
characteristics('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 3, 0.998,
3, 0.4).
characteristics('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 5, 0.997,
8.5, 0.7).
characteristics('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 7, 0.995,
1.7, 0.1).
characteristics('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 9, 0.989,
2.3, 0.2).
characteristics('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 10,
0.999, 10, 1.1).
characteristics('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "R", 11,
0.999, 9, 0.8).

characteristics('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 4, 0.99,
0.975, 4, 0.7).
characteristics('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 6, 0.995,
0.99, 4.5, 0.6).
characteristics('7374-bbab-8cbb-7f35.DESKTOP-3GVICMS', 0, "K", 8, 0.997,
0.99, 5, 1).

```

Рисунок В.24 – Формальний опис моделі ФМ (рис. В.21) на мові Prolog (формується автоматично в підсистемі O)



5. Процес оцінювання (послідовність редуції) (сформовано автоматично в підсистемі O, візуалізовано підсистемою F) (рис. В.25-4.29).

## Step 1

Reduction in 1 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
R1	2	3		RR	Re1
R2	3	4		RR	Re1
R5	9	10		RR	Re2
R6	10	11		RR	Re2
R7	11	2		RR	Re2

## Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re1	4						3
Functioning control	4	K1	5	2					1
Work operation	5	R3	6						2
Functioning control	6	K2	8	7					1
Work operation	7	R4	5						1
Functioning control	8	K3	12	9					1
Work operation	9	Re2	2						1
Finisher	12		0						

Рисунок В.25 – Візуалізація процесу редуції, проведеної на 1 кроці

## Characteristics

<b>NameTFU</b>	<b>Num TFU</b>	<b>DesTFU</b>	<b>B1</b>	<b>K11</b>	<b>K00</b>	<b>Mt</b>	<b>Dt</b>
Starter	1						
Work operation	2	Re1	0.99700			8.100	0.700
Functioning control	4	K1		0.990	0.975	4.000	0.700
Work operation	5	R3	0.99700			8.500	0.700
Functioning control	6	K2		0.995	0.990	4.500	0.600
Work operation	7	R4	0.99500			1.700	0.100
Functioning control	8	K3		0.997	0.990	5.000	1.000
Work operation	9	Re2	0.98702			21.300	2.100
Finisher	12						

Рисунок В.26 – Поточні характеристики операцій ФМ після проведення 1 кроку редуції

## Step 2

Reduction in 2 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
Re1	2	4		RK	Re3
K1	4	5	2	RK	Re3

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re3	5						2
Work operation	5	R3	6						2
Functioning control	6	K2	8	7					1
Work operation	7	R4	5						1
Functioning control	8	K3	12	9					1
Work operation	9	Re2	2						1
Finisher	12		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re3	0.99992			12.258	3.356
Work operation	5	R3	0.99700			8.500	0.700
Functioning control	6	K2		0.995	0.990	4.500	0.600
Work operation	7	R4	0.99500			1.700	0.100
Functioning control	8	K3		0.997	0.990	5.000	1.000
Work operation	9	Re2	0.98702			21.300	2.100
Finisher	12						

Рисунок В.27 – Редукція на 2 кроці

## Step 3

Reduction in 3 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
R3	5	6		RKR	Re4
K2	6	8	7	RKR	Re4
R4	7	5		RKR	Re4

## Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re3	5						2
Work operation	5	Re4	8						1
Functioning control	8	K3	12	9					1
Work operation	9	Re2	2						1
Finisher	12		0						

## Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re3	0.99992			12.258	3.356
Work operation	5	Re4	0.99997			13.118	1.326
Functioning control	8	K3		0.997	0.990	5.000	1.000
Work operation	9	Re2	0.98702			21.300	2.100
Finisher	12						

Рисунок В.28 – Редукція на 3 кроці

## Step 4

Reduction in 4 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
Re3	2	5		RR	Re5
Re4	5	8		RR	Re5

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re5	8						2
Functioning control	8	K3	12	9					1
Work operation	9	Re2	2						1
Finisher	12		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re5	0.99989			25.376	4.682
Functioning control	8	K3		0.997	0.990	5.000	1.000
Work operation	9	Re2	0.98702			21.300	2.100
Finisher	12						

Рисунок В.29 – Редукція на 4 кроці

6. Підсумковий результат оцінювання (сформовано автоматично в підсистемі О, візуалізовано підсистемою F) (рис. В.30).

## Step 5

Reduction in 5 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
Re5	2	8		RKR	Re6
K3	8	12	9	RKR	Re6
Re2	9	2		RKR	Re6

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re6	12						1
Finisher	12		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re6	0.99999			30.539	5.734
Finisher	12						

Рисунок В.30 – Оцінювання результатів надійності діяльності оператора  
( $B1=0.99999$ ,  $M(t)=30.539$ ,  $D(t)=5.734$ )

### Приклад 5

1. Графічна модель технології, що оцінюється зображена на рис. В.31.

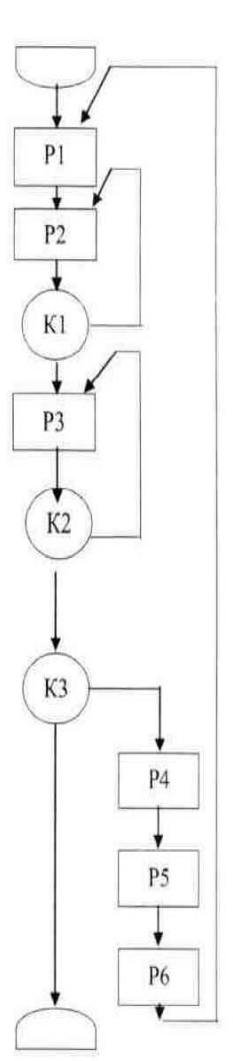


Рисунок В.31 – Графічна модель технології, що оцінюється

2. Початкові дані взяті з таблиць В.1 та В.2.
3. Результат введення моделі алгоритму діяльності і початкових даних через інтерфейс (сформовано в підсистемі F) (рис. В.32 і В.33).

## Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work oper.	2	R1	3						2
Work oper.	3	R2	4						2
Functionin.	4	K1	5	3					1
Work oper.	5	R3	6						2
Functionin.	6	K2	7	5					1
Functionin.	7	K3	11	8					1
Work oper.	8	R4	9						1
Work oper.	9	R5	10						1
Work oper.	10	R6	2						1
Finisher	11		0						

Рисунок В.32 – Введення моделі алгоритму діяльності



## Characteristics

NameTFU	NumTFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Work operation	2	R1	0.999			5.1	0.3
Work operation	3	R2	0.998			3.0	0.4
Functioning control	4	K1		0.990	0.975	4.0	0.7
Work operation	5	R3	0.997			8.5	0.7
Functioning control	6	K2		0.995	0.990	4.5	0.6
Functioning control	7	K3		0.997	0.990	5.0	1.0
Work operation	8	R4	0.989			1.7	0.1
Work operation	9	R5	0.989			2.3	0.2
Work operation	10	R6	0.999			10.0	1.1

Рисунок В.33 – Введення початкових даних

4. Формальний опис моделі алгоритму діяльності на мові Prolog (сформовано автоматично в підсистемі O) (рис. В.34)

Рисунок В.34 – Формальний опис моделі ФМ (рис. В.31) на мові Prolog (формується автоматично в підсистемі O)

5. Процес оцінювання (послідовність редукції) (сформовано автоматично в підсистемі O, візуалізовано підсистемою F) (рис. В.35-В.38).

## Step 1

Reduction in 1 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
R4	8	9		RR	Re1
R5	9	10		RR	Re1
R6	10	2		RR	Re1

## Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	R1	3						2
Work operation	3	R2	4						2
Functioning control	4	K1	5	3					1
Work operation	5	R3	6						2
Functioning control	6	K2	7	5					1
Functioning control	7	K3	11	8					1
Work operation	8	Re1	2						1
Finisher	11		0						

Рисунок В.35 – Візуалізація процесу редукції, проведеної на 1 кроці

## Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	R1	0.99900			5.100	0.300
Work operation	3	R2	0.99800			3.000	0.400
Functioning control	4	K1		0.990	0.975	4.000	0.700
Work operation	5	R3	0.99700			8.500	0.700
Functioning control	6	K2		0.995	0.990	4.500	0.600
Functioning control	7	K3		0.997	0.990	5.000	1.000
Work operation	8	Re1	0.97714			14.000	1.400
Finisher	11						

Рисунок В.36 – Поточні характеристики операцій ФМ після проведення 1 кроку редуції

## Step 2

Reduction in 2 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
R2	3	4		RK	Re2
K1	4	5	3	RK	Re2
R3	5	6		RK	Re3
K2	6	7	5	RK	Re3

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	R1	3						2
Work operation	3	Re2	5						1
Work operation	5	Re3	7						1
Functioning control	7	K3	11	8					1
Work operation	8	Re1	2						1
Finisher	11		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	R1	0.99900			5.100	0.300
Work operation	3	Re2	0.99994			7.085	1.712
Work operation	5	Re3	0.99996			13.104	2.676
Functioning control	7	K3		0.997	0.990	5.000	1.000
Work operation	8	Re1	0.97714			14.000	1.400
Finisher	11						

Рисунок В.37 – Редукція на 2 кроці

## Step 3

Reduction in 3 step

OldDesTFU	Num TFU	Num01	Num02	DesTFS	NewDesTFU
R1	2	3		RR	Re4
Re2	3	5		RR	Re4
Re3	5	7		RR	Re4

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re4	7						2
Functioning control	7	K3	11	8					1
Work operation	8	Re1	2						1
Finisher	11		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re4	0.99891			25.289	4.688
Functioning control	7	K3		0.997	0.990	5.000	1.000
Work operation	8	Re1	0.97714			14.000	1.400
Finisher	11						

Рисунок В.38 – Редукція на 3 кроці

- б. Підсумковий результат оцінювання (сформовано автоматично в підсистемі О, візуалізовано підсистемою F) (рис. В.39).

## Step 4

Reduction in 4 step

### Structure

NameTFU	Num TFU	DesTFU	Num01	Num02	Num03	Num04	Num05	Num06	Num Conn
Starter	1		2						
Work operation	2	Re5	11						1
Finisher	11		0						

### Characteristics

NameTFU	Num TFU	DesTFU	B1	K11	K00	Mt	Dt
Starter	1						
Work operation	2	Re5	0.99998			30.474	5.755
Finisher	11						

Рисунок В.30 – Оцінювання результатів надійності діяльності оператора

( $B1=0.99998$ ,  $M(t)=30.474$ ,  $D(t)=5.755$ )

## ДОДАТОК Г

## Копії публікацій



### Пролог-технологія оцінювання надійності людино-машинної взаємодії

Татарчук Р. М., студент ІТ.м-21н; Лавров Є. А., професор

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

**Вступ.** Ускладнення процесів управління технологічними об'єктами, збільшення ризиків аварій та небезпек для людини-оператора вимагають особливої уваги до методів забезпечення надійності діалогової взаємодії та пошуку резервів підвищення ергономічної якості.

**Постановка задачі.** Обґрунтувати метод он-лайн оцінювання діалогової взаємодії «людина-комп'ютер».

**Результати.** В основу концепції покладено людино-системний підхід [1] та функціонально-структурну теорію ерготехнічних систем [1-3], яка передбачає опис алгоритму людино-машинної взаємодії в вигляді моделі типу «функціональна мережа».

Якщо описати алгоритм взаємодії людини і комп'ютерної системи за допомогою функціональної мережі і задати показники безпомилковості і часу окремих операцій, які виконують людина або автоматика, то можна оцінити надійність всього алгоритму взаємодії. Для вирішення цієї задачі сформовано [1] моделі оцінки надійності для типових функціональних структур (ТФС). Для швидкого автоматичного оцінювання альтернативних варіантів людино-машинної взаємодії необхідно виявляти такі ТФС і проводити згортку (редукцію) функціональної мережі, замінюючи ТФС на елементарні операції з еквівалентними характеристиками. На жаль, технології такого розпізнавання і автоматизації редукції для он-лайн оцінювання потребують вдосконалення:

– існуючий метод, розроблений Адаменко А.М. [1], орієнтований на Пролог-опис мовою предикатів, має фундаментальну модель оцінювання, але базується на застарілих програмних засобах

– метод, запропонований Пасько Н.Б. [2], на жаль, орієнтований на EXCEL-технології.

В зв'язку з цим на основі існуючих розробок розроблено нову мову опису функціональних мереж і Пролог-технологію оцінювання.

Структура Пролог-програми, що пропонується:

*V<sub>1</sub>*-Блок опису структури функціональної мережі (опис структури графу, тобто зв'язків між операціями) та характеристик надійності і часу виконання окремих операцій;



$B_2$ -Блок опису структури всіх відомих ТФС;  
 $B_3$ -Блок математичних моделей для оцінювання показників ТФС;  
 $B_4$ -Блок правил пошуку і “згортання” ТФС;  
 $B_5$ - Блок правил управління процесом редукції.  
 $B_6$ - Блок “сервісних”правил  
 Приклад редукції функціональної мережі показано на рис.1.

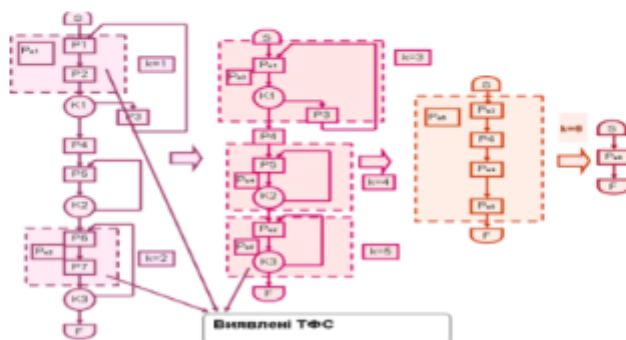


Рисунок.1. Демонстрація принципу редукції функціональної мережі

Висновки. Технологія пройшла апробацію при моделюванні реальних автоматизованих комплексів і планується до використання в міжнародному проекті он-лайн підтримки ергономічних досліджень[3].

- 1 А. N. Adamenko, A. T. Asherov, I. L. Berdnikov. Information controlling human-machine systems: research, design, testing. Reference book, A. I. Gubinsky & V. G. Evgrafov, ets.: Mashinostroenie, 1993
- 2 E. Lavrov, N. Pasko, O. Siryk, O. Burov and M. Natalia, "Mathematical Models for Reducing Functional Networks to Ensure the Reliability and Cybersecurity of Ergatic Control Systems," 2020 IEEE 15th Int. Conf. TCSET, Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 179-184, doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235418
- 3 E. Lavrov et al., "Human Factors in Automated Systems. Methodology for the Computer System “International Center for the Support of Ergonomic Design and Research”," 2023 IEEE 5th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/AICT61584.2023.10452692.



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІЖНАРОДНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «АСТАНА»**



# **ІНФОРМАТИКА, МАТЕМАТИКА, АВТОМАТИКА**

**ІМА - 2024**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

**МІЖНАРОДНОЇ  
НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
МОЛОДИХ УЧЕНИХ**

**(Суми-Астана,  
22-26 квітня 2024 року)**

**Суми,  
Сумський державний університет  
2024**

**Система управління автоматизованим хлібозаводом.  
Ризики та методологія пошуку ергономічних резервів  
забезпечення продовольчої безпеки**

Татарчук Р. М., студент *IT.м-21н*; Клименко І. В., аспірант;  
Лавров Є. А., професор

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Вступ. Сучасні хлібозаводи – це високоавтоматизовані виробництва, які, на жаль, стають джерелом низки небезпек та продовольчих ризиків.

Постановка задачі. Проаналізувати проблеми та розробити принципи ергономічного забезпечення продовольчої безпеки.

Результати. Функціональна структура системи управління. Основні підсистеми. Склад безтарного зберігання борошна (БЗБ); приготування розчинів та зберігання рідкої сировини; приготування та оброблення тіста; забезпечення виробництва (тепло-, водо- та холодопостачання, електропостачання, вентиляція, котельня та інші).

Основні задачі управління підсистем.

Склад БЗБ та подача борошна у виробництво: управління електроприводами і розподільчими пристроями при подачі борошна; управління роботою механізмів складу БЗБ та контроль стану розподільчих пристроїв; контроль маси, сигналізація граничних значень рівня у ємностях; керування механізмами та пристроями очищення фільтрів від відпрацьованого повітря.

Приготування додаткової сировини: управління електроприводами і розподільчою арматурою при приготуванні рідких інгредієнтів; контроль рівня в ємностях, сигналізація граничних значень рівня в них; контроль параметрів якості (концентрації, густини, кислотності та інших) розчинів додаткової сировини; управління механізмами та пристроями подачі додаткової сировини у виробництво.

Приготування напівфабрикатів (опари та тіста): регулювання витрат рідких і сипких компонентів; регулювання (стабілізація) вологості опари, тіста; контроль параметрів процесу (температури, кислотності, реології та інших) опари та тіста; сигналізація граничних значень температури, кислотності та реології опари та тіста; керування електроприводами та розподільчою арматурою при приготуванні опари та тіста; управління технологічним обладнанням та механізмами відповідно до заданої програми та сигналізація робочого та аварійних режимів роботи.



Випікання: управління запальними пристроями при розпалюванні печі; стабілізація режимів вологості в печі; контроль і регулювання температури в пекарних камерах та тяги в печах; сигналізація про граничні значення параметрів печі; контроль витрати палива та управління безпекою горіння. Очевидно, що всі функції є при низькій надійності джерелом ризиків. Аналіз ролі оператора та проблем “людського фактора”. Підвищення рівнів автоматизації, з одного боку, сприяє зростанню ефективності, а, з іншого боку, – напруженості і ціни помилки оператора. Зростає роль інформаційних моделей (рис.1.), доля роботи в інформаційному середовищі та відповідальність оператора, який може стати, як джерелом помилкових реакцій, так і коригуючим елементом.



Рисунок 1. Демонстрація зміни ролі оператора управління хлібозаводом

Методологія організації людино-машинної взаємодії в системах управління автоматизованим хлібозаводом. Основні принципи:

Людино-системний підхід[1];

Адаптивні інтерфейси;

Вибір варіантів організації управління процесом на основі оцінок безпомилковості і своєчасності [1] реалізації функцій (перелік див. вище) в залежності від:

- Алгоритму діяльності оператора
- Інформаційної моделі
- Характеристик оператора (рівень підготовленості, рівень мотивації, функціональний стан, тощо)
- Умов праці.

1 E. Lavrov et al., "Human Factors in Automated Systems. Methodology for the Computer System "International Center for the Support of Ergonomic Design and Research", 2023 IEEE 5th Int. Conf. AICT, Lviv, Ukraine, 2023, pp. 1-5, doi: 10.1109/AICT61584.2023.10452692.

## ДОДАТОК Д

## Копія акту впровадження

Акт

Впровадження у

Приватне акціонерне товариство «Прилуцький хлібозавод» результатів дипломної роботи студента групи П.М-21н Сумського державного університету Татарчука Руслана Миколайовича

на тему:

«Інформаційна технологія оцінювання надійності алгоритмів діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів»

Цей акт підтверджує факт використання на підприємстві зазначеної інформаційної технології:

1. На Приватне акціонерне товариство «Прилуцький хлібозавод» передано інформаційну технологію оцінювання надійності діяльності операторів автоматизованих технологічних комплексів. Програмне забезпечення дозволя оцінювати надійність реалізації функцій системи управління технологічним процесом на підприємстві
2. Результати роботи використовуються для оцінювання альтернативних варіантів організації діяльності операторів та дозволяють на підставі об'єктивних кількісних показників приймати рішення про раціональні технології управління, заходи по створенню оптимальних умов праці на робочих місцях, визначення кількості операторів та їх кваліфікації.
3. Економічна ефективність результатів впровадження на поточний час не оцінювалась.
4. Цей акт не є підставою для виплати будь-яких грошових заохочень.

« \_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.



*Татарчука Руслана Миколайовича*